



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Grado

### La recuperación de la tierra pisada en la arquitectura contemporánea

Autor

**Miguel Tutor Vicente**

Director

**Santiago Carroquino Larraz**

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

Grado en Arquitectura

2015



## Resumen

La contemporaneidad en arquitectura debe basarse en una lectura analítica de la tradición del pasado desde la cual proponer visiones para el futuro. La arquitectura en tierra pisada no es algo ajeno a nuestro entorno sino que forma parte de la técnica constructiva local. El trabajo plantea la puesta al día de esta tradición olvidada para construir la contemporaneidad.

En primer lugar se realiza una aproximación desde un punto de vista antropológico y filosófico sobre la tierra como uno de los elementos de la naturaleza y sus connotaciones en la tradición. Este análisis introspectivo de la materia se complementa con una visión más tangible del material para evaluar cómo se pretende dar respuesta a las preocupaciones sociales de la actualidad, donde además de la búsqueda del confort, la rentabilidad económica y el desarrollo social, la comunidad demanda un respeto hacia el medio ambiente, sin descuidar el diseño ni la calidad formal de sus edificios.

A pesar de sus virtudes, la construcción en tierra pisada está poco implantada en la arquitectura contemporánea. Por ello, en segundo lugar, la investigación se centrará en analizar pormenorizadamente su comportamiento técnico ofreciendo visiones cruzadas sobre criterios proyectuales y sensoriales que contribuyan a explotar al máximo las propiedades de la tierra apoyándose en normativa nacional e internacional vigente al respecto.

Finalmente, a partir de los criterios analizados durante la investigación se propondrá como caso de estudio una obra capaz de aglutinar las bondades de la arquitectura contemporánea mediante un material; la tierra pisada. La obra de Martin Rauch a caballo entre la artesanía y la arquitectura, pone de manifiesto valores como la técnica, la sostenibilidad y la calidad formal. A partir de la tradición constructiva local en tierra pisada este artesano logra dar una nueva dimensión a la contemporaneidad.

Palabras clave:

Arquitectura contemporánea, tierra pisada, técnica constructiva, sostenibilidad, Martin Rauch, calidad formal, textura, arquitectura de los sentidos.



# Contenido

<b>Resumen.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Razón de estudio .....</b>	<b>1</b>
<b>2. La tierra: materia y material .....</b>	<b>3</b>
2.1. El elemento tierra en la filosofía naturalista .....	3
2.2. La materia y su composición .....	5
2.2.1 Vinculación al lugar.....	5
2.2.2 Componentes: El hormigón de arcilla.....	6
2.2.3 Los agregados y la influencia en la textura de la tierra.....	7
2.2.4 Los minerales y su influencia en el color de la tierra .....	8
2.3. La tierra como material sustentable .....	9
2.3.1 Economía y viabilidad.....	9
2.3.2 La implicación social en la construcción en tierra.....	10
2.3.3 El diálogo con el medio ambiente .....	10
2.4. El uso tradicional de la tierra en Aragón .....	12
<b>3. La tierra pisada como material de la arquitectura contemporánea.....</b>	<b>15</b>
3.1. Respuesta a las necesidades y valores de la arquitectura contemporánea.....	15
3.2. El vacío legal en el uso de la tierra pisada como material de construcción .....	17
3.3. Criterios técnicos.....	19
3.3.1. Comportamiento estructural.....	19
3.3.2. Comportamiento higrotérmico.....	21
3.3.3. Comportamiento acústico .....	22
3.3.4. Comportamiento frente a las inclemencias del tiempo .....	23
3.3.5. Comportamiento frente al fuego.....	24
3.4. Criterios medioambientales .....	25
3.5. Criterios proyectuales.....	26
3.6. Criterios sensoriales .....	27
3.7. Prejuicios de la tierra como material en la actualidad .....	28
<b>4. Caso de estudio: La arquitectura de Martin Rauch .....</b>	<b>31</b>
4.1. Martin Rauch: De la artesanía a la arquitectura .....	31
4.2. Selección de proyectos en tierra pisada .....	32
4.2.1. Tierra pisada y cristianismo: Arquitectura fúnebre.....	33
4.2.2. Tierra pisada y simbolismo: Capilla de la Reconciliación (Berlín, Alemania, 1990-2000).....	35
4.2.3. Tierra pisada y tradición: Establo Piazza Pintgia (Almens, Suiza, 2008-2010).....	37
4.2.4. Tierra pisada y prefabricación: Escuela agrícola (Mezzana, Suiza, 2010-2012).....	38
4.2.5. Tierra pisada y paisaje: Centro de hierbas Ricola (Laufen, Suiza, 2010-2014).....	40
4.3. Casa Rauch (Schlinss, Austria) .....	42
4.3.1. Concepto .....	42
4.3.2. Erosión y temporalidad. El paso del tiempo. ....	43
4.3.3. Secuencia espacial.....	44

4.3.3. Proceso constructivo .....	49
4.3.4. Materia y detalle .....	51
4.3.4. Análisis higrotérmico de la vivienda .....	54
4.3.5. La vivienda sostenible .....	56
<b>5. Conclusión .....</b>	<b>57</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>59</b>

# 1. Razón de estudio

La contemporaneidad de la arquitectura se debe construir repensando el pasado. Mediante la comprensión y el análisis del camino recorrido en la tradición arquitectónica podemos adquirir el bagaje necesario para afrontar con entereza las vicisitudes presentes y futuras. La tradición es la fuente del conocimiento de nuestros ancestros de la que nos nutrimos y que forma parte de nuestra identidad cultural como personas ligadas a una región o colectivo.

Estas premisas ya eran asumidas por arquitectos del movimiento moderno como Alvar Aalto que reivindicaban valorizar la arquitectura tradicional desde una nueva perspectiva. En el siglo XXI las demandas de la contemporaneidad han evolucionado frente a las del siglo pasado, nuevos factores como el confort y la sostenibilidad se añaden a la calidad formal y espacial de la arquitectura.

En el caso del valle del Ebro, la arquitectura tradicional se realiza en tierra por su amplia disponibilidad y sus buenas prestaciones. La constatación de esta tradición local lleva a plantearnos si la recuperación de este material en la arquitectura contemporánea permitirá satisfacer las necesidades de la sociedad actual.

La tierra como materia aparece ligada física y filosóficamente a la condición del hombre desde el origen de los tiempos. No sólo como base donde se desarrolla la actividad humana, sino también como elemento con el que moldear refugios en los que cobijarse. Esta dualidad entre materia y material tan arraigada en la arquitectura tradicional se ha visto desplazada con la llegada del hormigón y del acero en la edificación.

En las últimas décadas, ha surgido en Europa un deseo de reivindicar el papel de la tierra pisada en la arquitectura, y recuperar esta tradición olvidada. Pese a existir avances significativos a nivel europeo, en España estas inquietudes no están del todo arraigadas a nivel social y académico siendo necesario sentar las bases mediante las que transmitir el interés por este material.

La tierra pisada es visto por parte de la población como un sistema constructivo anacrónico y de pobre calidad que no ofrece las mismas prestaciones que otros materiales más extendidos como el hormigón o el acero. Para comprobar la veracidad de estos prejuicios será necesario analizar desde un punto de vista técnico y estructural las propiedades constructivas de la tierra pisada y compararlas con otras soluciones constructivas de la contemporaneidad.

En una sociedad en la que la arquitectura aparece condicionada por la legislación y normativa vigente será necesario contar con aspectos legales que viabilicen la construcción en tierra pisada. En España esta técnica no aparece referenciada en la normativa por lo que será necesario adentrarse en normas internacionales que puedan extrapolarse como base legal en nuestro país.

Por otro lado surge la cuestión de la sostenibilidad en la arquitectura. La visión tradicional de la madera como material sostenible tiene aspectos en contra como el agotamiento de los bosques por tala masiva o las mediocres propiedades térmicas y estructurales la misma. Con la tierra pisada se pretende ampliar el abanico de soluciones sostenibles y abrir nuevas vías de actuación que puedan solventar las lagunas que la madera deja sin resolver.

Algunos ejemplos actuales de construcción en tierra son meros contenedores que se justifican en aras de la sostenibilidad dejando de lado valores arquitectónicos como la calidad formal y la espacialidad. Esto nos lleva a pensar: ¿Acaso no es posible conjugar sostenibilidad, calidad arquitectónica y sinceridad constructiva? La arquitectura contemporánea en tierra pisada además de respetar el medio ambiente, debe trabajar el material explotando las características técnicas, proyectuales que la tierra ofrece. Sólo de este modo se alcanzará una arquitectura capaz de transmitir sensaciones y evocar espacios poéticos con los que dar sentido a la contemporaneidad.



## 2. La tierra: materia y material

La tierra no es un mero material de construcción pues posee unos valores que la diferencian del resto de soluciones tradicionales. En la tierra los términos materia y material se diluyen. Por ello, en un principio, es necesario abordar este elemento desde su más profundo significado y ver la importancia que tiene para su aplicación en la arquitectura.

### 2.1. El elemento tierra en la filosofía naturalista

Desde los inicios de la cultura occidental la tierra ha sido considerada como uno de los elementos constituyentes de la naturaleza y por tanto de lo que en ella acontece. Los pensadores griegos trataban de dar respuesta a aquello que les rodeaba explicando la naturaleza a partir de los cuatro elementos: tierra, agua, fuego y aire como las diferentes fases de la materia que formaban el Todo. Se iba de lo denso y pesado a lo ligero e intangible. Esta teoría queda recogida en el tratado *Acerca de la generación y la corrupción* (Aristóteles, *Acerca de la generación y la corrupción*, s IV a.C.) donde expone el paso del no ser al ser, la generación, y del ser al no ser, la corrupción, como procesos naturales que explican los fenómenos físicos del mundo a partir de la interacción entre los cuatro elementos.

Uno de las preocupaciones más importantes para los filósofos naturalistas era la búsqueda del arché (ἀρχή). Este concepto indica el origen, el primer elemento del que se componen todas las cosas y fue acuñado por Tales de Mileto (625-547a.c.). Así pues, identificó el agua como el origen del mundo al observar empíricamente que los seres vivos se componían de agua (Aristóteles, *Metafísica*, s IV a.C.). Sin embargo, un filósofo posterior, Jenófanes de Colofón (580-475a.c.) postuló acerca del origen de los seres vivos y añadió un nuevo elemento: la tierra, que incorporada al agua forma un barro a partir del cual se componen todas las cosas, incluido el ser humano (Diels, 1903).

El concepto de barro como elemento de vida también aparece en la tradición cristiana. *“El Señor Dios formó al hombre del polvo de la tierra, y sopló en su nariz el aliento de vida; y fue el hombre un ser viviente.”* (Génesis 2,7). Este pasaje puede tener varias interpretaciones. Por un lado aquella en la que la tierra simboliza la Materia tanto física como espiritual de la que se compone el hombre y por otro lado la humildad<sup>1</sup> de la condición humana (Regazzoni, 2002). La religión cristiana añade la virtud de la humildad al elemento tierra. Esta es la visión que se le ha dado a la tierra en la arquitectura, un material básico y humilde. El cristianismo también ofrece otras visiones que confluyen con la de los pensadores griegos. El pasaje *“Con el sudor de tu rostro comerás el pan hasta que vuelvas a la tierra, porque de ella fuiste tomado; pues polvo eres, y al polvo volverás.”* (Génesis 3:19,23), no hace sino evocar a los ciclos

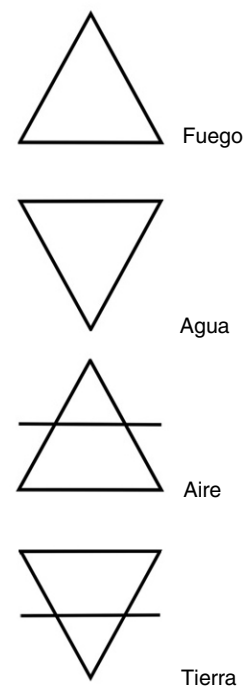


Fig 1: Los cuatro elementos.  
Fuente propia

<sup>1</sup> Humildad: del latín humilitas, deriva de la palabra humus = tierra.

descritos por Jenófanes y Aristóteles en sus tratados. El barro es el primer material.

Estos conceptos filosóficos representan un punto de vista diferente para abordar el elemento tierra como materia. La tierra, de los cuatro elementos clásicos, es la más densa, la más tangible y la que servía de base sobre la cual se desarrollaba el universo. Además, gracias a su densidad y cohesión permitía dar cuerpo a las diferentes formas de la naturaleza. Este elemento para los antiguos tenía un comportamiento estructural ya que consideraban que era la materia que sostenía el mundo.

La tierra es asimismo un elemento vital pues tal y como afirmaba el filósofo Jenófanes “todo lo da” pero también “todo lo vuelve a tomar” (Diels, 1903). Nos encontramos aquí ante un análisis cíclico de la propia tierra y también de la vida que emerge de ella. La materia siempre vuelve a su origen sea cual sea el proceso que se haya llevado a cabo con ella. El fin es a su vez el principio.

Todos estos conceptos analizados anteriormente son extrapolables a la utilización de la tierra pisada en la construcción. La tierra es una materia primigenia indisociable al origen del mundo. El fin último de este material en arquitectura no es el empleo de una textura o un color sino comprender la esencia de la materia y otorgarle también un comportamiento estructural. La tierra tiene un carácter estereotómico que hay que saber explotar. Como defendía Aristóteles este elemento sufre procesos de generación y corrupción. Esto no se refiere a los procesos físicos de erosión y sedimentación, sino a la construcción del edificio, donde la generación es el paso de la materia (no ser) al material (ser) y la corrupción es el proceso inverso mediante la demolición del edificio al final de su vida útil. Esto se asemeja al ciclo de la tierra expuesto por Jenófanes que es capaz de leerse en términos filosóficos y constructivos. La tierra extraída de la superficie terrestre para la construcción de un edificio vuelve a la misma tras su demolición al no verse alterada su materialidad. Es un retorno a su origen. De la tierra a la tierra.

## 2.2. La materia y su composición

Además de abordar el tema desde un punto de vista filosófico y espiritual es necesario realizar una aproximación científica para comprender mejor las propiedades y el aspecto de la materia.

### 2.2.1 Vinculación al lugar

Mediante el uso de la tierra para la edificación se consigue una íntima relación con el lugar física y conceptualmente. En el pasado los prehistóricos se nutrían de lo que daba la naturaleza para habitar: moraban en cuevas y hacían refugios con materiales naturales. Hoy en día con la tierra pisada se recupera lo estereotómico de la cueva y el carácter de la materia, lo que permite un mayor arraigo con el hábitat. Se busca reinventar la idea del refugio contemporáneo.

La tierra se caracteriza por ser un material local al depender sus propiedades originales del lugar de su extracción. Pese a ser un material que podemos encontrar por todo el mundo, su aspecto varía según la naturaleza del suelo y su composición, que son específicas de cada zona. De este modo encontraremos tierras con mayores proporciones de grava aptas para el tapial (tierra pisada) y otras más fluidas con alto contenido en limos empleadas para el adobe o el cob que necesitan ser mezclados con paja para garantizar la cohesión (Le Tiec & Paccoud, 2006). La manera de trabajar la tierra forma parte de las costumbres de cada pueblo y son una tradición constructiva de cada región que alimenta la cultura constructiva global. En nuestra zona los métodos empleados tradicionalmente son el adobe y el tapial. Este último será el objeto de análisis en este trabajo. Las técnicas más empleadas globalmente se describen a continuación.

- El adobe es un sistema muy extendido. Estas piezas en formas de ladrillo están formadas por una mezcla de arena arcilla y paja secada al sol (Campelo, Méndez, & Miñana, 1979). Estos bloques de tierra comprimida son de fácil manipulación y se emplean tradicionalmente en el mediterráneo y África. [Fig 2]

- El tapial permite realizar muros de carga macizos mediante un encofrado en el cual se vierte la tierra y se compacta mediante un pisón. Este método por su sencillez se realiza en buena parte del mundo desde Latinoamérica hasta China pasando por la cuenca mediterránea y oriente próximo (Maldonado Ramos, Rivera Gámez, & Vela Cossío, Arquitectura y construcción con tierra: Tradición e Innovación, 2005). [Fig 3]

- El cob es un sistema semejante al tapial pero se caracteriza por ser realizado con un barro más fino y argiloso que se mezcla con paja para dar consistencia. Es un material más plástico y fluido que el tapial que se vierte in situ (di Paoli, 2014). Mientras que el adobe y el tapial son propios de climas secos y soleados el cob se extiende por climas más lluviosos como las islas británicas o Estados Unidos. [Fig 4]

- El bajareque es un método tradicional de construcción de viviendas mediante cañas entretejidas y barro, característico de Colombia y Venezuela.



Fig 2: Edificio de adobe en Aragón  
Fuente: [www.cannabric.com](http://www.cannabric.com)



Fig 3: Uso del tapial. Vivienda en León  
Fuente: José Luis Luna



Fig 4: Sistema del cob. Vivienda tradicional en Vendée (Francia)  
Fuente: Riccardo di Paoli



Fig 5: Utilización del torchis. Vivienda tradicional en Marne (Francia)  
Fuente: Riccardo di Paoli

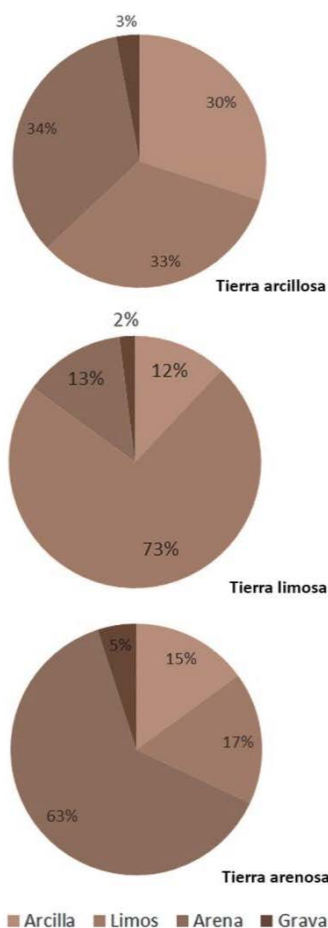


Fig 6: Componentes y proporciones.  
Fuente: Propia. Datos: G.Minke, 2006

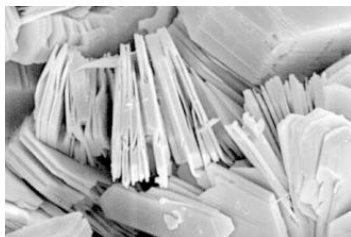


Fig 7: Arcillas al microscopio  
Fuente: Riccardo di Paoli

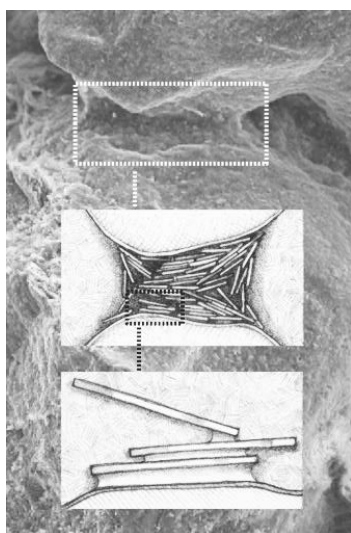


Fig 8: Puente argiloso entre partículas  
Fuente: Riccardo di Paoli

- El torchis forma parte de la cultura tradicional del norte de Francia y otras regiones centro europeas. Este sistema consiste en aglutinar paja y barro para obtener una mezcla con la que rellenar una estructura auxiliar, tradicionalmente de madera para aislar térmicamente la vivienda en los climas fríos (di Paoli, 2014). En este caso la tierra no tiene capacidad portante. [Fig 5]

## 2.2.2 Componentes: El hormigón de arcilla

La tierra se compone de distintos tipos de grano: arcilla (<0.002mm), limo (0.002-0.06mm), arena (0.06-2mm) y grava (>2mm). De estos cuatro componentes, el de mayor importancia es la arcilla, sin ella, no sería posible el uso de la tierra en la construcción (van Damme, 2013). Las partículas de arcilla aseguran la cohesión de los distintos granos que conforman la tierra y permiten a la misma trabajar solidariamente. Según la proporción de los componentes nos encontramos con distintos tipos de tierra [Fig 6].

En el caso de la tierra pisada resulta apropiado establecer una comparación con el hormigón en masa pues ambos poseen similitudes. De hecho podríamos considerar la tierra pisada como un hormigón en el que en lugar de emplear como aglomerante el cemento, se utiliza la arcilla (Fontaine, 2013).

Técnicamente la arcilla es un phyllosilicato<sup>2</sup> hidratado (van Damme, 2013). A nivel microscópico podemos observar que las arcillas son hojas de silicio con espesores muy finos que se agrupan entre sí [Fig 7]. La forma laminar de las arcillas permite retener el agua entre las hojas que de otro modo se escaparían, garantizando así la unión entre los granos. La arcilla cohesiona la tierra pero el verdadero rol adhesivo recae en el agua que contiene el material.

El agua tiene la capacidad de generar un puente líquido entre dos partículas y unir las [Fig 8]. Esto sucede cuando la gota de agua se extiende entre ambas adquiriendo una forma de diábolo de modo que las moléculas de agua están en tensión y garantizan la unión entre los dos granos. Las arcillas aprovechan la tensión superficial del agua gracias a su amplia superficie y logran puentes líquidos lo suficientemente fuertes para lograr la cohesión entre las distintas partículas. Esta unión específica se denomina puente argiloso<sup>3</sup> (di Paoli, 2014). El puente argiloso alcanza su mayor eficacia con una proporción precisa de agua. Un defecto de agua genera una mezcla muy arenosa y de fácil disgregación mientras que un exceso provoca un material excesivamente fluido con capacidad portante reducida.

Otro factor importante para lograr la mayor cohesión posible entre los granos de arena y garantizar la capacidad estructural de un muro de tierra pisada es lograr el mayor número de puentes posibles por metro cuadrado. El número de puentes es directamente proporcional al número de granos e inversamente proporcional a su tamaño. Por ello, la arena de mejor calidad será la de más fineza ya que

<sup>2</sup> Phyllo es una raíz griega que significa hoja

<sup>3</sup> Término españolizado del francés: Pont argileux.



conseguiremos mayor cantidad de pequeños granos por metro cuadrado y con ello más puentes argilosos que aglutinen las partículas (van Damme, 2013).

### 2.2.3 Los agregados y la influencia en la textura de la tierra

La tierra al ser un material granular ofrece múltiples texturas desde el tapial con áridos vistos hasta un fino enlucido. Dependiendo de la granulometría de las partículas mezcladas se pueden lograr distintos acabados a partir de un único material. La tierra empleada tradicionalmente en construcción se caracteriza por un elevado número de áridos bien sea cantos rodados, grava o gravilla. Tras realizar el tapial convencional, estos áridos pueden enfatizarse mediante un cepillado para sacarlos a la luz y dejar un acabado con los áridos vistos [Fig 9]. Esta terminación es característica de los muros exteriores que tras la acción erosiva del viento, las partículas finas de la tierra como las arenas desaparecen dejando los áridos y dando un aspecto heterogéneo y rugoso. (Le Tiec & Paccoud, 2006)

El acabado de tierra colada consiste en añadir agua a la mezcla para hacerla más plástica (Sobre un 18% de agua para la tierra colada frente al 12% del tapial tradicional). Esta composición permite reducir las posibles fisuras por la retracción del material y deja un acabado rugoso en el que se intuye la forma de los áridos pero no se pueden ver a simple vista [Fig 10]. Además de por su aspecto plástico también resulta útil para rellenar pequeños huecos o grietas en la rehabilitación de edificios en tierra (Fontaine, 2013).

Eliminando los áridos de la mezcla se consigue un mortero de tierra que tiene un acabado suave. Para realizar un enfoscado de tierra más fino es necesario moler, tamizar (10mm) y diluir la tierra. Se aplica con la ayuda de una rasilla. Para evitar la retracción y la posible aparición de grietas se le añade arena que mejora la cohesión del enfoscado (Le Tiec & Paccoud, 2006).

El acabado más fino es aquel que se consigue con el enlucido de tierra [Fig 11]. El proceso es similar al del enfoscado pero se realiza un tamizado más fino (4mm). Se suele aplicar en varias capas con la ayuda de un pincel. Para taponar las fisuras generadas por la retracción del material se pasa una esponja húmeda que deja un acabado perfectamente liso. (CRAterre, 2014).

Otra manera de trabajar la textura de la tierra en masa es mediante el encofrado [Fig 12]. Una disposición específica de tabloncillos de madera o listones pueden dejar su huella en el material. Para que esta huella sea perceptible es necesario que la tierra fluya fácilmente y rellene bien las hendiduras del encofrado. De este modo se amplía el abanico de acabados y se explotan al máximo las características plásticas de este material tan singular.



Fig 9: Textura con áridos  
Fuente: Le Tiec - Paccoud



Fig 10: Textura de tierra colada  
Fuente: Le Tiec - Paccoud



Fig 11: Textura de enlucido  
Fuente: Les enduits de terre



Fig 12: Textura tras encofrado  
Fuente: Les enduits de terre

## 2.2.4 Los minerales y su influencia en el color de la tierra

Otro de los aspectos plásticos importantes en la arquitectura en tierra es el color. Esta propiedad es de marcado carácter local ya que el material es el mismo que otorga las tonalidades al paisaje. Esto permite una integración magnífica de la arquitectura en el lugar. Existen diversos ejemplos como Ademuz (España), Aït-Ben-Haddou (Marruecos) o Djenné (Mali) donde las construcciones en tierra armonizan con el hábitat que las rodea [Fig 13-14]. (Correia, 2014)

El color de la tierra viene determinado por los minerales que la componen. Normalmente la tierra toma una gama de colores que va desde los ocre hasta tonos más rojizos, aunque hay otras variedades (Minke, 2006). Normalmente son los minerales de hierro los que proporcionan un mayor abanico de colores rojos, amarillos, marrones... Concretamente los óxidos de hierro son los que dan ese color bermejo característico a algunos terrenos arcillosos. El hierro al oxidarse genera una herrumbre rojiza que es la que tiñe de este color la tierra. Otros óxidos como los de calcio y magnesio aportan colores blanquecinos mientras que los de manganeso aportan una variada gama de marrones (Ver tabla) (U.S.Dept of Agriculture, 2000).



Fig 13: Ademuz (España)  
Fuente: Correia, 2014



Fig 14: Aït-Ben-Haddou (Marruecos)  
Fuente: Riccardo di Paoli

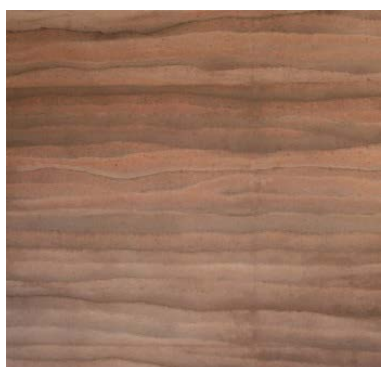


Fig 15: Tonalidades de tierra  
Sublette County Library (EEUU)  
Fuente: www.sirewall.com

Mineral	Fórmula	Munsell	Color
goethita	FeOOH	10YR 8/6	amarillo
goethita	FeOOH	7.5YR 5/6	marrón oscuro
hematites	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5R 3/6	rojo
hematites	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10R 4/8	rojo
lepidocrocita	FeOOH	5YR 6/8	amarillo rojizo
lepidocrocita	FeOOH	2.5YR 4/6	rojo
ferrihidrita	Fe (OH) <sub>3</sub>	2.5YR 3/6	rojo oscuro
glauconita	K (Si <sub>x</sub> Al <sub>4-x</sub> ) (Al, Fe, Mg) O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	5Y 5/1	gris oscuro
Sulf. de hierro	FeS	10YR 2/1	negro
pirita	FeS <sub>2</sub>	10YR 2/1	negro
jarosita	K Fe <sub>3</sub> (OH) <sub>6</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	5Y 6/4	amarillo pálido
todorokita	MnO <sub>4</sub>	10YR 2/1	negro
humus		10YR 2/1	negro
calcita	CaCO <sub>3</sub>	10YR 8/2	blanco
dolomita	CaMg (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	10YR 8/2	blanco
yeso	CaSO <sub>4</sub> × 2 H <sub>2</sub> O	10YR 8/3	marrón pálido
cuarzo	SiO <sub>2</sub>	10YR 6/1	gris claro

Traducido y adaptado de The Color of Soil, NRCS, USAD, 2000

El color del suelo también varía según la cantidad de materia orgánica que posee. En terrenos fértiles con materia vegetal surge una capa superficial llamada humus, generada por la materia en descomposición de los organismos muertos. El carbono contenido en la materia orgánica da una tonalidad oscura a la tierra. Éste con el paso del tiempo se infiltra y penetra en la tierra desde las capas oscuras que las de mayor profundidad (Minke, 2006).

Para una mayor precisión se ha ideado un Sistema de Color Munsell que permite clasificar científicamente y a nivel internacional el color de los suelos a partir de su matiz (color específico), valor (iluminación) y croma (intensidad) (U.S.Dept of Agriculture, 2000).

## 2.3. La tierra como material sustentable

La tierra no es solo un material con buenas características físicas y plásticas sino que además es sostenible. Para que un material se considere sustentable debe basarse en los tres pilares básicos de la sostenibilidad establecidos por la ONU en el Documento final de la Cumbre Mundial de 2005: El material debe promover el desarrollo económico, lograr la cohesión social y respetar el medio ambiente (Asamblea General ONU, 2005). Se procederá al análisis de cada uno de estos tres pilares para afirmar que la tierra es, sin lugar a dudas, un material sostenible.

### 2.3.1 Economía y viabilidad

La principal ventaja económica de este material es que se obtiene del propio terreno del solar, es decir, no existe sobrecoste de material y se ahorra en recursos. La tierra se obtiene tras efectuar las excavaciones necesarias para la cimentación, de este modo se aprovecha el material extraído que en otro caso se desecharía (Correia, 2014). Gracias a ello se reduce el transporte de material y el coste que ocasiona, además de reducir la emisión de CO<sub>2</sub> al no haber consumo de gasolina. Otra ventaja de la tierra pisada es que no necesita transformación en fábrica, las mezclas con agua, grava o arena se ejecutan in situ si son necesarias al depender de la composición del suelo. La tierra es a la vez materia prima y material de construcción lo que implica una buena optimización del material al no requerir de añadidos o procesos químicos que supongan sobrecostes. Durante el proceso constructivo el gasto es ligeramente mayor pues las obras en tierra suelen ser más largas que las convencionales y en los países desarrollados la contratación de mano de obra es cara. A pesar de ello la tierra pisada se considera una tecnología constructiva barata con un coste inferior a 35€/m<sup>2</sup> (Build it international, 2012).

Con la construcción en tierra se promueve la actividad del lugar pues la producción no se descentraliza lo que supone una fuente de ingresos para el municipio y los profesionales de la construcción que viven en él. Es decir, La tierra es un material local y de producción local. Durante la construcción del edificio las distancias se reducen y se favorece la economía regional (Earth Building Association of New Zealand, 2008).

Durante la vida útil del edificio está comprobada la gran capacidad aislante del material lo que reduce considerablemente el gasto energético en calefacción y climatización del edificio. Por ello la tierra pisada es un material económico más allá de su proceso de construcción (Minke, 2006). El transporte, la externalización de la producción y los procesos de transformación son factores que apenas se les da importancia en la actualidad pero suponen gran parte del presupuesto de las obras convencionales. El uso de la tierra pisada evita el despilfarro tanto energético como económico y hace de este material austero y humilde un producto económico y de calidad con un potencial atractivo.

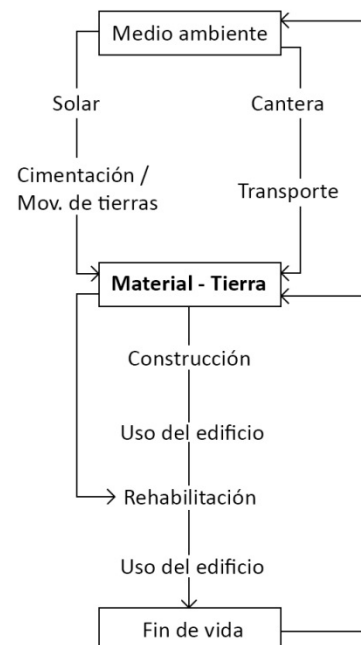


Fig 16: Proceso de construcción en tierra  
Fuente: Fabricación propia



Fig 17: Obra de vivienda en tierra pisada  
Fuente: Shawn Palmer



### 2.3.2 La implicación social en la construcción en tierra

La construcción en tierra tiene un marcado carácter social. Se consigue transmitir la cultura constructiva tradicional y los conocimientos que la acompañan a generaciones posteriores. Además se promueve la cohesión social y las actividades en grupo. Muchos de los proyectos en tierra de la actualidad se realizan mediante talleres colectivos donde personas sin práctica en el mundo de la construcción aprenden conocimientos y comparten experiencias. El objetivo es realizar un pequeño proyecto ciudadano que se dona a la ciudad como espacio público. Algunas Escuelas de Arquitectura europeas realizan también estos talleres de tierra cruda con el objetivo de atraer a la sociedad y enseñar el uso de este material a las nuevas generaciones de arquitectos. Estos talleres urbanos han contado con gran participación ciudadana en las ciudades francesas de Nantes y Grenoble. (Asociación CRAterre y ENSAG). En España empiezan a surgir pequeños proyectos académicos impulsados por la universidad de Valladolid y la UPC. A nivel regional, Huesca cuenta con la delegación española del *Institut für Baubiologie* alemán que organiza pequeños talleres y promueven la construcción sostenible en el medio rural aragonés. ([www.baubiologie.es](http://www.baubiologie.es))



Fig 18: Seminario del IEB en Huesca  
Fuente: [www.baubiologie.es](http://www.baubiologie.es)



Fig 19: Taller de tierra cruda CRAterre  
Fuente: Riccardo di Paoli

Por otro lado también se realiza arquitectura social en tierra. En los países en desarrollo con altas demandas de vivienda y equipamientos se realizan proyectos con los materiales del lugar generalmente barro, cañas y paja de gran calidad y que piensan en los más desfavorecidos (Maldonado, 2013).

Dentro de la arquitectura social en tierra a nivel internacional destaca la arquitecta Anna Heringer cuya obra se desarrolla principalmente en Bangladesh. Es en este país, con ayuda de la población autóctona, donde realiza escuelas y viviendas con materiales como el bambú de la zona, saris<sup>4</sup> de la industria textil local, tierra y paja. La mano de obra son los propios habitantes del lugar quienes mediante métodos artesanales y la ayuda de trabajo animal realizan obras de gran envergadura como la Handmade School de Rudrapur premiada a nivel internacional [Fig 20]. La arquitectura de Heringer logra aunar la tradición local de un país humilde con el trabajo de la colectividad que pese a disponer de pocos medios es capaz de sacar adelante sus proyectos. Anna Heringer aborda la arquitectura desde un punto de vista social pues a su modo de ver “*architecture is a tool to improve lifes*” (Heringer, 2014)

### 2.3.3 El diálogo con el medio ambiente

La tierra pisada es un material que garantiza la sostenibilidad del medio ambiente al ahorrar energía y reducir la contaminación ambiental. La energía gris de este material es muy reducida, los gastos energéticos en extracción, transporte y producción suponen un 1% del gasto generado por otros materiales como el hormigón o los ladrillos cerámicos (Minke, 2006). Además, al tener apenas impacto



Fig 20: Handmade School Rudrapur  
Fuente: [www.anna-heringer.com](http://www.anna-heringer.com)

<sup>4</sup> Tela tradicional con la que se visten las mujeres en el sur de Asia.



ambiental permite reducir la huella ecológica<sup>5</sup> de un país que en el caso de España es de 5,7, ocupando la duodécima posición en el ranking mundial (Global Footprint Network, 2007). Otra ventaja del material es su fácil reciclaje. Al tratarse de una materia prima sin transformar, la tierra, puede reciclarse de manera ilimitada o ser directamente devuelta al medio sin alterar al mismo. Los residuos generados tras la demolición también pueden ser reutilizados en revestimientos o enlucidos o bien para construir una nueva obra en tierra (Frey, 2013). Frente a los materiales convencionales que siguen un esquema lineal, de la cuna a la tumba, la tierra pisada respeta los principios de la reducción, reutilización y reciclaje, un esquema circular que va de la cuna a la cuna (McDonough, 2002). Este material tiene un ciclo de vida donde el origen y el final coinciden, se va de la tierra a la tierra [Fig 21-22].

Otra ventaja ligada a la no transformación de la materia prima es la ausencia de productos químicos tóxicos en su composición. Esto no solo contribuye a proteger al medio ambiente de productos nocivos sino también a preservar la salud de los usuarios del edificio. Al carecer de productos no biodegradables en su composición su reutilización y reciclaje son más sencillos (Earth Building Association of New Zealand, 2008).

Los muros en tierra también poseen la capacidad de absorber los contaminantes disueltos en agua. La tierra se emplea habitualmente en filtros de piscinas (tierra de diatomeas) para limpiar las impurezas del agua. En la actualidad se está investigando si sucede lo mismo con el aire. De ser así, las obras en tierra pisada ayudarían a filtrar el aire contaminado exterior y conseguir un aire limpio en el interior del edificio. (Minke, 2006)

Otro factor importante a tener en cuenta es la cantidad de humedad que contiene y que permite proteger materiales orgánicos como la madera aumentando su durabilidad. La tierra, al absorber la humedad por capilaridad mantiene la madera seca evitando la aparición de hongos o insectos (Rauch & Heringer, Conferencia "MudWorks: A Different Shade of Green", 2012). De este modo las carpinterías de madera empleadas en estos edificios necesitan un menor mantenimiento lo que reduce sensiblemente la tala de árboles y mejora su tasa de renovación<sup>6</sup>.

Por otro lado, la tierra es un material higrotérmico y regula la humedad de las estancias. El tapial es capaz de absorber humedad cuando hay exceso de vapor de agua y expulsarla en condiciones secas garantizando el equilibrio de humedad en la vivienda. Además su alta inercia térmica le permite almacenar calor durante el verano y expulsarlo en invierno. Al ser un buen aislante, la tierra, suaviza las temperaturas interiores en los meses calidos y logra un ambiente más confortable a lo largo de todo el año. (Maldonado, Nuevas aplicaciones dela tierra como material de construcción, 2003)

<sup>5</sup> La huella ecológica (Rees y Wackernagel, 1996) es un ratio que calcula el número de hectáreas necesarias para que un territorio obtenga los recursos que precisa y elimine sus desechos.

<sup>6</sup> velocidad con la que la biomasa se renueva en un ecosistema.

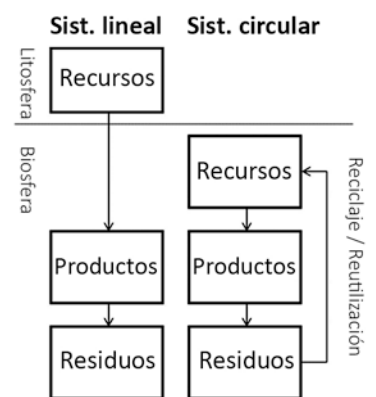


Fig 21: Consumo lineal y circular  
Fuente: Revista INVI Vol 28, No 77 (2013)  
Adaptado



Fig 22: Ciclo ecológico de la tierra:  
1-Extracción  
2-Preparación  
3-Construcción  
4-Utilización  
5-Mantenimiento  
6-Fin de vida  
Fuente: www.pise-livradois-forez.org

## 2.4. El uso tradicional de la tierra en Aragón

La arquitectura popular del valle del Ebro se basa en el uso de la tierra gracias a dos factores, la facilidad para obtener el material de construcción del entorno y la estructura socio-económica rural. Ambas características han permitido desarrollar en nuestros pueblos una cultura constructiva en barro que en el último siglo se ha ido perdiendo (DiCom Medios , 2000).

Antiguamente el adobe era el sistema constructivo más extendido en Aragón. El barro, la paja y el estiércol se compactaban en bloques con unas dimensiones aproximadas de 40x20x10cm. Sin embargo, las rudimentarias adoberas de madera no eran precisas y los bloques tenían perfiles irregulares que una vez aparejados dejaban oquedades que posteriormente se rellenaban de barro (Abad Alegría, 1997). El material se obtenía a partir de tierra labrada y esponjada sobre la que se añadía agua. Esta se dejaba reposar durante la noche para una mayor cohesión del barro y posteriormente se amasaba a pie desnudo. Un 15% en volumen de paja se añadía a la mezcla para estabilizarla, generalmente se empleaban los restos cultivos tradicionales de cebada o trigo. Una vez realizada la mezcla y con la ayuda de adoberas se realizaban los bloques y se dejaban secar un par de días. (Allanegui Burriel, 1979). El aparejo más frecuente era el de juntas alternadas.

El tapial es otro sistema tradicional de construcción en Aragón. En este caso no se empleaba la paja pues con la grava, cantos y en ocasiones pequeños cascotes de edificios demolidos se conseguía una capacidad portante adecuada. La construcción era muy sencilla mediante un encofrado de tablonos de madera reforzados con tirantes para evitar que el sistema cediera. La tierra se apisonaba manualmente y una vez concluida una sección de muro el encofrado se desplazaba horizontalmente para proseguir con la siguiente sección (Abad Alegría, 1997). Los agujeros de los tirantes se rellenaban con barro. En ocasiones entre los bloques de tapial se intercalaban cantos más gruesos para reforzar el muro. También se empleaban estos áridos gruesos en las esquinas para reforzarlas. Además, era bastante común combinar en un muro una base inferior de tapial con unos bloques de adobe en la parte superior para abrir huecos en el muro. (Allanegui Burriel, 1979)

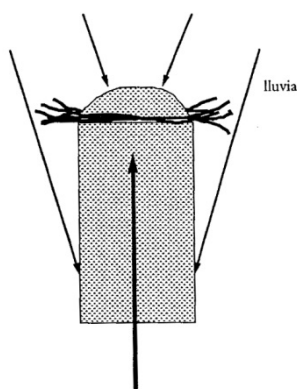


Fig 23: Esquema de barda  
Fuente: Abad Alegría, 1997

Para proteger al barro de la humedad por capilaridad<sup>7</sup> del suelo se disponían cimentaciones y zócalos de piedra mientras que para proteger los muros de la lluvia se empleaban bardas [Fig 23] amontonando cañas o ramas sobre el muro de modo que este saliente amortiguase el impacto de la gota de lluvia sobre el muro. Un material muy característico y a su vez muy empleado para la protección de los muros de tierra cruda es la sangre. El empleo de este fluido en la construcción tradicional evoca el simbolismo tratado en el primer apartado en el que la tierra es el sólido, lo corpóreo y la sangre es el fluido vital, el alma (Génesis:3-6). Esta relación tierra-

<sup>7</sup> Capacidad de los líquidos de subir o bajar por oquedades o conductos de pequeño diámetro.

sangre no hace sino aludir al origen místico de la vida. Desde un punto de vista científico, el alto contenido en proteínas de la sangre, genera, cuando esta se coagula, una capa impermeable que reduce la porosidad del material y da brillo a la superficie. Normalmente la sangre empleada era de cerdo. Para conseguir este impermeabilizante natural era preciso mantener la sangre líquida para ello se seguía el mismo proceso que durante la matanza, tan arraigada en la cultura rural aragonesa. Mientras caía del animal, la sangre se agitaba con la ayuda de un palo para evitar que cuajara. Posteriormente se aplicaba sobre la superficie del muro y se dejaba secar al aire (Abad Alegría, 1997).

Tras analizar estos dos ejemplos de construcción popular aragonesa podemos comprobar que el uso de la tierra como material de construcción no es algo innovador y moderno sino que forma parte de nuestra cultura y tradición.

El objetivo de este trabajo no es descubrir un nuevo material sino retomar la tradición constructiva local y plantear la posibilidad de adaptarla a los nuevos tiempos. Una puesta al día de esta tradición olvidada.



### **3. La tierra pisada como material de la arquitectura contemporánea**

Una vez realizado el estado del arte de la tierra como material es necesario elaborar una metodología sobre los criterios a seguir por la tierra pisada para adaptarse a las necesidades actuales de la arquitectura contemporánea. Esta investigación permitirá elaborar una posterior propuesta sobre qué es la arquitectura contemporánea en tierra pisada y cómo se recupera esta tradición.

#### **3.1. Respuesta a las necesidades y valores de la arquitectura contemporánea**

Como hemos visto en el apartado anterior la construcción en tierra cruda es habitual en la arquitectura popular mediterránea, sin embargo en el siglo XX se ha visto desplazada por los materiales de la contemporaneidad como el hormigón, el vidrio o el acero. El siglo XXI supone una nueva oportunidad para analizar el pasado, comprender sus aciertos y sus errores y renovar el campo de la arquitectura. Por ello, y debido a la implicación de la sociedad en causas como el reciclaje, el ahorro energético o la contaminación del medio ambiente hacen de la tierra cruda una construcción alternativa con mucho que explotar (Maldonado, 2013).

En la actualidad la sociedad posee nuevas necesidades e inquietudes a las que hay que dar respuesta. Se ha evolucionado hacia una sociedad más urbana, abierta y conectada donde la población ha ganado derechos y libertades. Se ha alcanzado un Estado del Bienestar. Esto no es algo ajeno a la arquitectura ya que esta tiene que ser capaz de responder a las demandas de servicios y comodidades anheladas por el ciudadano. Más allá de un lenguaje formal, la arquitectura contemporánea debe tener en cuenta al usuario y generar espacios funcionales sin olvidar aspectos tan importantes hoy en día como el confort y la relación con el entorno.

La arquitectura contemporánea supone una relectura de los valores del movimiento moderno. Los valores heredados de los grandes maestros como Le Corbusier o Mies se han ido desarrollando y tratar la arquitectura contemporánea presenta dificultades en parte debido al amplio espectro de corrientes que existen (Frampton, 1981). Frente a la búsqueda de un lenguaje universal que propugnaba el movimiento moderno en la arquitectura contemporánea se tiende a buscar el valor expresivo del material como en las obras de Herzog y de Meuron. Además el espacio ya no es el origen del proyecto sino el resultado, el inicio es el gesto proyectual que es lo que da carácter al proyecto (Moneo, 2007).

Por otro lado la idea de arquitectura como objeto de la modernidad se ha diluido y hoy en día se persigue una integración en el entorno, el objeto se intenta adaptar a su contexto en aras de una visión global de conjunto. En la arquitectura contemporánea hay rasgos comunes como la búsqueda de una sinceridad constructiva ligada al carácter del material y a la estructura (Moneo, 2007). De esta premisa

podemos pensar en dos vertientes. Una, la arquitectura high-tech que aprovecha los avances tecnológicos que han surgido estas últimas décadas y de carácter innovador. A esta corriente pertenecerían arquitectos como Norman Foster, Renzo Piano o Richard Rogers. La otra vertiente sería la arquitectura low-tech, una vertiente más artesanal pero no por ello menos innovadora. Esta corriente se basa en las técnicas constructivas locales y el uso de los materiales del lugar. Algunos de valores son los defendidos por arquitectos como Peter Zumthor.

La arquitectura contemporánea en tierra pisada a pesar de no estar extendida en la actualidad tiene cabida en un mundo que demanda mejoras medioambientales y el confort del usuario. Esta arquitectura es capaz de dar respuesta a las necesidades de la sociedad actual y seguir los valores de la contemporaneidad mencionados anteriormente.

### 3.2. El vacío legal en el uso de la tierra pisada como material de construcción

Pese al interés por desarrollar los sistemas de construcción en tierra en nuestro país surge un importante obstáculo, la falta de legislación. En los últimos años se han aprobado nuevas normativas sobre la construcción en España como es el caso del CTE en 2006. Más que una normativa el CTE es un documento de prestaciones que impone unos objetivos pero deja libertad en la manera de cumplirlos (Algorri, 2009). Los DB que lo acompañan facilitan medidas para alcanzar estos objetivos, sin embargo, en el caso de la construcción en tierra, al tratarse de soluciones alternativas que no aparecen en el DB hay obligación de justificarlas documentalmente (artículo 5.1 del CTE). Esta ausencia de legislación al respecto implica abundantes controles técnicos y tediosos excesos de burocracia, lo que frena a los arquitectos a la hora de decantarse por este material, especialmente en obras de gran envergadura.

En el caso de España tan solo existe una norma que trata específicamente la construcción en tierra: La norma UNE 41410-2008 titulada “Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definición, especificaciones y métodos de ensayo” (AENOR, 2008). A pesar de definir detalladamente las características que deben tener los productos BTC no menciona pautas para el uso de la tierra pisada, que es el objeto de análisis de este trabajo. Para poder normalizar el uso de este sistema constructivo en España resulta imprescindible conocer la legislación de países de nuestro entorno para adaptar las mejores soluciones e incorporarlas a nuestra normativa nacional. En la actualidad este trabajo está siendo desarrollado por el Instituto Eduardo Torroja y el Ministerio de Vivienda pero todavía no ha dado sus frutos (Bestraten, 2011).

A nivel europeo existen normas similares a la española sobre los BTC como la XP P13-901:2001 francesa y leyes italianas para la conservación del patrimonio en tierra como la ley nº308 2004 o la LR 2/06 2 2006 (Cid, 2011). En Alemania destacan las Lehmbau Regeln<sup>8</sup> que pese a no ser una norma oficial aprobada por un organismo institucional es un documento técnico reglamentario de 120 páginas de uso muy extendido ( Dachverband Lehm e.V., 1998). Este documento fue la primera compilación de reglas sobre la construcción en tierra de la UE y fue financiado por el Ministerio de medio ambiente alemán. El texto sigue una estructura similar a los reglamentos tradicionales:

- Los capítulos uno y dos tratan aspectos generales de la tierra como definiciones, testeo de muestras, pruebas de laboratorio,....
- En el tercer punto se indican especificaciones sobre los distintos usos de la tierra como la tierra pisada (3.2), el cob (3.3), adobes (3.7), paneles (3.8), morteros de arcilla (3.9) y otras técnicas tradicionales alemanas. Concretamente, en el apartado de tierra pisada enumera los criterios a seguir en la composición de áridos de la mezcla, el tratamiento, la densidad y la contracción por secado además del tipo pruebas a realizar in situ.

---

<sup>8</sup> Reglas de construcción en tierra en alemán.

- El apartado cuatro recoge el método de ejecución para levantar muros portantes (4.1), bóvedas (4.2) y forjados (4.4) entre otros.
- En el punto cinco se detallan los valores que debe poseer la tierra para cumplir los objetivos estructurales (5.2), higrotérmicos (5.3 y 5.4), de reacción al fuego (5.5), de aislamiento acústico (5.6) y de resistencia (5.7 y 5.8).

Como se puede comprobar, a pesar de no ser una norma oficial, el documento es bastante extenso y completo, fácilmente extrapolable a la normativa española que carece del desarrollo y precisión de textos como este ( Dachverband Lehm e.V., 1998).

A nivel mundial los países africanos poseen reglamentación específica sobre la tierra pisada como es el caso de las normas SAZS 724 (Zimbawe) e IS 2110 (Túnez). Sin embargo, la normativa oficial más amplia y completa sobre la construcción en tierra es de 1998 y la encontramos en Nueva Zelanda, un país caracterizado por su respeto hacia el medio ambiente (Cid, 2011). La legislación sobre construcción en tierra se recoge en tres tomos de aproximadamente 300 páginas en total:

- NZS 4297,1998 Engineering Design of Earth Buildings, trata sobre aspectos generales como definiciones y el comportamiento del material. Además recoge normas estructurales acerca de los estados límites últimos<sup>9</sup> y de servicio<sup>10</sup> soportables por la tierra pisada así como casos excepcionales de esfuerzos cortantes, axiles excéntricos y momentos flectores que pueden darse en el material. El elevado detalle a nivel de cálculos hace de este tomo un documento equiparable a un posible DB SE – Tierra del CTE.
- NZS 4298,1998 Materials and workmanship for earth buildings, recoge aspectos técnicos y de puesta en obra del material. Se divide en un capítulo general aplicable a la construcción global en tierra sea cual sea su puesta en obra y varios capítulos con requerimientos específicos para la tierra pisada, adobe, BTC, tierra colada.
- NZS 4299,1998 Earth buildings not requiring specific design, reúne criterios constructivos y detalles de encuentros convencionales en este tipo de construcciones. Entre sus bloques destacan los destinados al análisis del terreno, los cimientos, los muros y la apertura de huecos.

Resumir un documento tan extenso resulta complejo, sin embargo en los próximos apartados de criterios técnicos de la tierra pisada se harán referencias a la norma neozelandesa para demostrar la viabilidad de la construcción en tierra. La constatación de que ya existe una normativa acerca de este material indica que la falta de legislación española al respecto no debería ser un escollo. Es posible importar leyes y adaptarlas a las particularidades de nuestro país. Sólo de este modo se facilitará el impulso de una arquitectura contemporánea en tierra que satisfaga las necesidades estructurales, técnicas y constructivas que demanda la sociedad actual.

---

<sup>9</sup> Colapso de la estructura o agotamiento resistente

<sup>10</sup> Pérdida de funcionalidad de la estructura: deformación excesiva, vibraciones,...



### 3.3. Criterios técnicos

La tierra puede parecer a simple vista un material que no ofrece la solidez y prestaciones de los materiales convencionales como el hormigón el acero o el ladrillo. Sin embargo, tal y como se ha visto anteriormente en normativas internacionales, la tierra es capaz de adaptarse a las reglas de confort y seguridad demandadas en la arquitectura contemporánea. En la tabla a continuación se recogen los principales datos técnicos de un muro de tierra pisada. Los siguientes apartados permiten demostrar que nos encontramos ante un material apto para la construcción en la actualidad.

Peso específico	1800-2200 Kg/m <sup>3</sup>
Humedad de equilibrio	6% - 7%
Secciones de encofrado	15-20m de largo y 2,80m de alto
Grosor de pared	40-60cm
Resistencia a compresión	2,40 N/mm <sup>2</sup>
Resistencia a flexión	0,52 N/mm <sup>2</sup>
Resistencia a cizallamiento	0,62 N/mm <sup>2</sup>
Medida de retracción	0,25%
Medida de fluencia	0,20%
Dilatación térmica	0,005 mm/mK
Conductividad térmica	0,64-0,93 W/mK
Horas de trabajo por m <sup>3</sup>	según tamaño 15-35h

Características tierra pisada.  
Fuentes: G.Minke 2006 ; Bestraten, 2011

#### 3.3.1. Comportamiento estructural

La capacidad portante de la tierra es un criterio primordial en este tipo de arquitectura. La resistencia a compresión de este material varía en función de su densidad, gramaje y composición, de ahí que sea necesario realizar tests tanto in situ como en laboratorio (Bestraten, 2011). El test de la bola realizado en obra permite una primera aproximación para evaluar la capacidad de compresión del suelo. Esta bola se aprieta con la mano. Si apenas se comprime tendrá exceso de arcilla y no debería usarse en construcción directamente. Por el contrario si se comprime muy fácilmente y se disgrega indica un exceso de arenas y limos que tampoco son aconsejables para la construcción (Maniatidis & Walker, 2003). Posteriormente en laboratorio se realizan análisis proctores y con prensas para hallar la resistencia de la tierra de manera más precisa.

Material	Densidad	R. compresión
Adobe	1.200 - 1.500 Kg/m <sup>3</sup>	0,53-1,72 N/mm <sup>2</sup>
Cob	1.615 Kg/m <sup>3</sup>	1 N/mm <sup>2</sup>
BTC	1.700 - 2.000 Kg/m <sup>3</sup>	1-5 N/mm <sup>2</sup>
BTC estabilizado bioterre	1.787 Kg/m <sup>3</sup>	10,8 N/mm <sup>2</sup>
Tapial	1.900 -2.200 Kg/m <sup>3</sup>	3-4 N/mm <sup>2</sup>

Resistencia a compresión simple.  
Fuente: Bestraten, 2011

La arquitectura en tierra trabaja a compresión principalmente por ello conocer el valor de compresión del terreno es vital para el desarrollo de la obra. Una vez determinada la resistencia a compresión en laboratorio es necesario aplicar coeficientes de seguridad para no sobrepasar los estados límite últimos. Estos coeficientes dependen de la categoría de la obra y en algunos casos están recogidos en la norma. La norma NZS 4297:1998 considera un valor de 0.5 N/mm<sup>2</sup> para la resistencia a compresión de diseño<sup>11</sup>.

$$f_c = \phi \times f_{uc} \quad (\phi = \text{Coef. seg.} = 0.6 \text{ en NZS 4297:1998})$$

En la construcción en tierra pese a que no es lo común pueden generarse momentos flectores menores causados por las sobrecargas de viento o también en el caso de axiles excéntricos. La norma neozelandesa otorga un valor de 0.1 N/mm<sup>2</sup> para la resistencia a flexión de diseño y de 0.08 N/mm<sup>2</sup> para la resistencia a cortante de diseño. La tierra pisada solo trabaja bien a compresión de ahí que se emplee en muros de carga.

Otro aspecto a cumplir en la normativa son los estados límite de servicio. Para evitar el pandeo del muro es necesario que la esbeltez del mismo no sea muy elevada. La norma neozelandesa limita a 6,5m la altura del muro en tierra pisada y un espesor mínimo de 250 mm. La relación entre espesor (e) y altura/longitud (L) tiene que ser:

- Un extremo libre :  $L < 8e$
- Extremos apoyados:  $L < 18e$
- Extremos arriostrados:  $L < 21e$

Para mejorar las características resistentes de la tierra pisada se emplean aditivos como el cemento o la cal que pese a ser muy eficaces desvirtúan la naturaleza del material originario. Una opción más respetuosa es optimizar la proporción entre limos arenas y grava para lograr mayor resistencia o bien compactar mejor la mezcla. Por contra, hay que tener en cuenta que si se añade paja a la tierra esta resistencia a compresión disminuye y será necesario aumentar el espesor del muro (Minke, 2006).

En comparación con otros materiales convencionales la tierra pisada posee características resistentes muy inferiores lo que condiciona su estructura que requerirá muros de carga y mayor cantidad de material. A pesar de estas limitaciones la tierra pisada es un material apto capaz de cumplir los estándares de seguridad vigentes en la normativa actual.

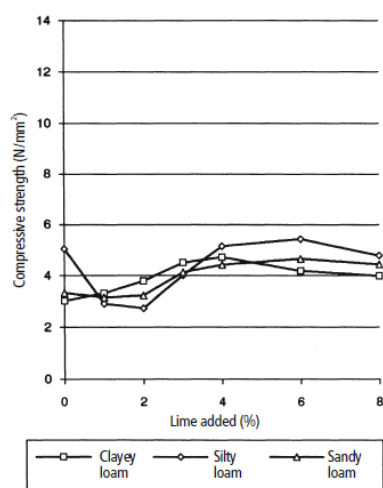


Fig 24: Mejora de la resistencia a compresión usando cal como aditivo  
Fuente: G.Minke, 2006

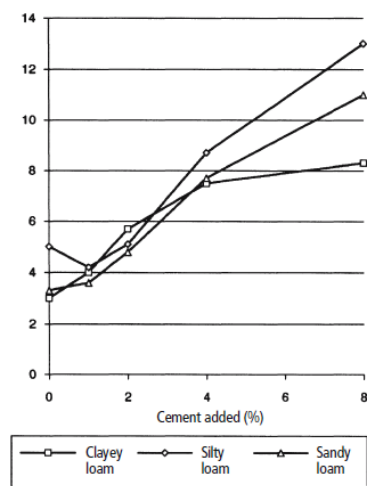


Fig 25: Mejora de la resistencia a compresión con cemento como aditivo  
Fuente: G.Minke, 2006

Straw [%/mass]	Weight [kg/m³]	Compressive strength [N/mm²]
0	1882	2.2
1	1701	1.4
2	1571	1.3
4	1247	1.1
8	872	0.3

Fig 26: Pérdida de la resistencia a compresión usando paja como aditivo  
Fuente: G.Minke, 2006

Material	R. compresión	R. flexión
Tierra pisada	3-4 N/mm <sup>2</sup>	0,3-0,4 N/mm <sup>2</sup>
Ladrillo cerámico	2-10 N/mm <sup>2</sup>	0,1-0,4 N/mm <sup>2</sup>
Madera (paralela fibra)	16-34 N/mm <sup>2</sup>	14-70 N/mm <sup>2</sup>
Hormigón en masa	20-40 N/mm <sup>2</sup>	2,6-4,1 N/mm <sup>2</sup>
Hormigón armado	25-50 N/mm <sup>2</sup>	< 15 N/mm <sup>2</sup>
Acero S275	275 N/mm <sup>2</sup>	275 N/mm <sup>2</sup>

Tabla comparativa de resistencias. Fuente propia

<sup>11</sup> Resistencia real obtenida en ensayos minorada por un coeficiente de seguridad.

### 3.3.2. Comportamiento higrotérmico

La tierra pisada posee un comportamiento higrotérmico superior al de otros materiales tradicionales. Esta propiedad hace interesante el uso de este sistema constructivo en zonas con grandes oscilaciones térmicas como es el caso de nuestra región. Gracias a su excelente inercia térmica suaviza las temperaturas interiores satisfaciendo las necesidades de confort actuales del usuario.

La conductividad del material depende de su densidad. Para la tierra pisada este valor oscila entre 0,46 y 1,6 W/mK (Bestraten, 2011). Para cumplir con los límites del CTE  $U_m < 0.6 \text{ W/m}^2\text{K}$  sería necesario un espesor de hasta 1,10m sin el empleo de aislantes añadidos. Esto nos lleva a cuestionar que la resistencia térmica de las paredes no es tan positiva. No obstante, empíricamente a lo largo de la historia, hemos comprobado que las construcciones tradicionales en tierra se mantienen frescas en verano y templadas en invierno. Esto se debe al comportamiento térmico cíclico de los muros que acumulan calor durante el día y lo devuelven durante la noche. Un estudio llevado a cabo por la universidad tecnológica de Sidney permite aclarar este concepto.

El flujo de calor en estado estático de una pared puede calcularse con la ecuación [1]. El valor de la conductividad del material en esta fórmula es el que determina la capacidad térmica aislante del muro final. Y como podemos ver en la siguiente tabla en el caso del tapial es similar al resto de materiales tradicionales lo que no aporta ninguna ventaja.

Material	Densidad	Conductividad $\lambda$
Tapial	1.400 - 2.200 Kg/m <sup>3</sup>	0,6-1,6 W/mK
BTC	1.700 Kg/m <sup>3</sup>	0,81 W/mK
Adobe	1.200 Kg/m <sup>3</sup>	0,46 W/mK
Hormigón armado	2.300 - 2.500 Kg/m <sup>3</sup>	2,3 W/mK
Hormigón en masa	2.000 - 2.300 Kg/m <sup>3</sup>	1,65 W/mK
Bloque de hormigón	860 Kg/m <sup>3</sup>	0,91 W/mK
Ladrillo macizo	2,170 Kg/m <sup>3</sup>	1,04 W/mK
Ladrillo hueco	670 Kg/m <sup>3</sup>	0,22 W/mK

Tabla comparativa de conductividad. Fuente S.Bestraten, 2011

La virtud de la tierra pisada reside en su resistencia al flujo cíclico de calor, también llamado inercia térmica. La alta inercia térmica de un muro en tapial retrasa el paso de calor a través de las paredes en verano de modo que la temperatura del interior del edificio fluctúa menos (Heathcote, 2011). En procesos cíclicos se emplea la ecuación de difusión de calor [2]. Esta ecuación introduce una nueva variable, la capacidad térmica, que permite obtener el valor de resistencia térmica cíclica del material. Este valor depende exponencialmente del espesor del muro mientras que la resistencia térmica estática varía de forma lineal.

En la siguiente gráfica podemos comprobar que para un ciclo de 12 horas (día-noche), la resistencia cíclica aumenta enormemente a

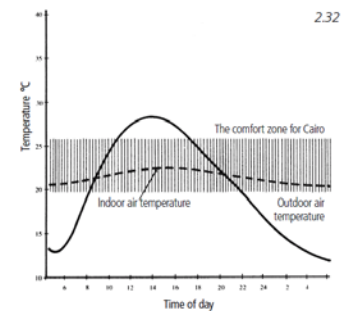


Fig 27: Adaptación a la zona de confort

Fuente: G.Minke, 2006

$$[1] \quad Q = \frac{A \times (T_{ext} - T_{int})}{R}$$

Donde:

A = Área (m<sup>2</sup>)

T<sub>ext</sub> = Temperatura exterior (K)

T<sub>int</sub> = Temperatura interior (K)

R = Resistencia térmica (m<sup>2</sup>K/W)

$$R = \frac{\text{Espesor muro (m)}}{\text{Conductividad muro } \left(\frac{\text{W}}{\text{mK}}\right)}$$

Fuente: Heathcote, 2011

$$[2] \quad \lambda \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial e^2} = c \cdot \frac{\partial T}{\partial t}$$

Donde:

$\lambda$  = Conductividad (W/mK)

T = Temperatura (K)

e = espesor muro (m)

c = capacidad térmica (kJ/m<sup>2</sup>K) =

= densidad · calor específico

t = tiempo

Fuente: G.Minke, 2006

partir de los 45 cm de espesor por lo que el flujo de calor a partir de este valor resulta insignificante. Esta es la explicación científica del buen comportamiento térmico de la tierra en la arquitectura que se conocía empíricamente desde la antigüedad.

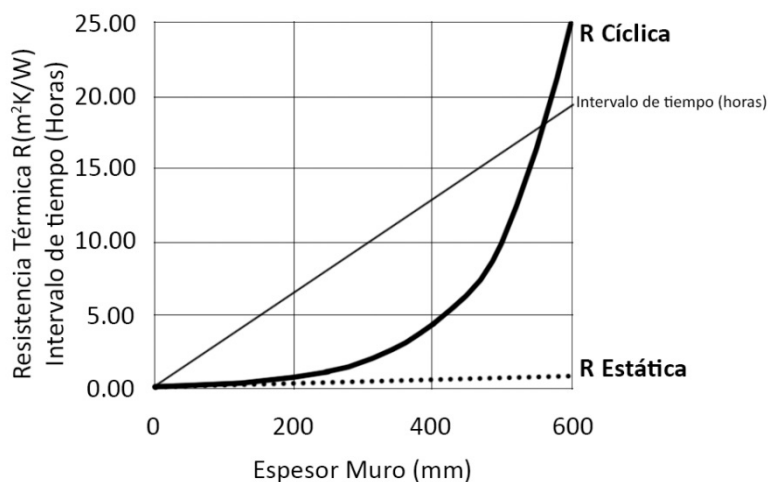
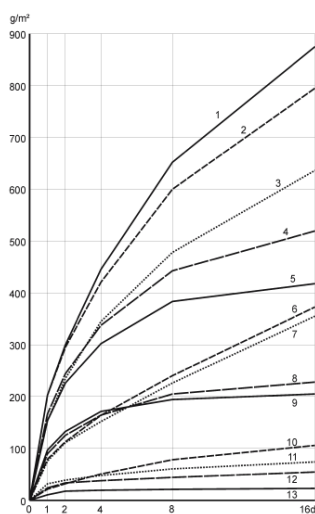


Fig 28: Resistencia térmica estática y cíclica . Adaptado de Heathcote, 2011

Para mejorar las propiedades térmicas de la tierra pisada pueden integrarse aislamientos tradicionales en PE como en la Sublette County Library, 2008. Sin embargo, este hecho falsea la sinceridad constructiva de una técnica tradicional y artesanal como es la tierra pisada. Las propiedades térmicas pueden mejorarse con otros métodos naturales que no hagan perder la esencia del material. La adición de paja, serrín o corcho es muy común en la técnica tradicional ya que al reducir la densidad de la mezcla consigue aumentar la resistencia térmica de los muros, no obstante también disminuye su capacidad portante (Minke, 2006).



- 1 Loam limoso
- 2 Loam arcilloso (d:1900)
- 3 Loam con paja (d:1400)
- 4 Loam con paja (d:700)
- 5 Loam con paja (d:550)
- 6 Pino
- 7 Hormigón poroso (400)
- 8 Loam arcilloso expandido (d:750)
- 9 Loam arcilloso expandido (d:1500)
- 10 Ladrillo hueco (800)
- 11 Ladrillo sólido (1800)
- 12 Hormigón (2200)
- 13 Hormigón M 15

Fig 29: Curvas de absorción de humedad para muros de grosor 11.5 cm  
Fuente: G.Minke, 2006

Por otro lado, la tierra es un material poroso capaz de compensar la humedad del ambiente absorbiendo el vapor de agua cuando el ambiente está saturado y devolviéndolo cuando la atmósfera está más seca (Schroeder, 2011). De este modo se consigue regular la humedad en el interior de una vivienda garantizando unos valores entre el 40% y 70% adecuados para la salud del usuario. Este papel de regulador higrotérmico hace idóneo el uso de la tierra en zonas húmedas como cocinas y baños. En la tabla anexa puede comprobarse la mayor capacidad de absorción de humedad de la tierra (loam<sup>12</sup>) frente a otros materiales contemporáneos.

### 3.3.3. Comportamiento acústico

Desde el punto de vista acústico y protección contra el ruido la tierra pisada cumple con los estándares demandados. Al tratarse de un material que presenta textura porosa en su superficie, la tierra pisada ofrece una buena absorción acústica<sup>13</sup>. Por otro lado, el

<sup>12</sup> Producto de la erosión de la roca de la corteza terrestre de granos sueltos.

<sup>13</sup> Absorción acústica: Mejora de la calidad acústica de un local de tal forma que se reduce el sonido que reverbera en el mismo.

aislamiento acústico<sup>14</sup> depende de la densidad de la tierra. La tierra pisada gracias a su compactación posee una elevada densidad y por tanto un elevado valor de aislamiento frente al ruido aéreo. Este valor Ra puede calcularse mediante la fórmula:

$$Ra(db) = 21,65 \log(\rho \cdot e) - 2,3 \quad (\text{para } \rho > 50 \text{ kg/m}^2)$$

Donde:

$\rho$  = densidad del muro (kg/m<sup>3</sup>)

e = espesor del muro (m)

Adaptada y corregida

Fuente: G.Minke, 2006

Para una pared media de espesor 30 cm podemos comprobar que su valor es similar al de otros materiales convencionales lo que le permite adaptarse fácilmente a la norma del CTE DB-HR. Además teniendo en cuenta que el valor de los muros en tierra pisada suelen alcanzar los 40-50cm pueden conseguirse muros con un aislamiento acústico superior.

Material	Densidad	Espesor	R.acus.
Tapial	1.400 - 2.200 Kg/m <sup>3</sup>	30 cm	57,85 dB
BTC	1.700 Kg/m <sup>3</sup>	30 cm	56,32 dB
Adobe	1.200 Kg/m <sup>3</sup>	30 cm	53,04 dB
Hormigón armado	2.300 - 2.500 Kg/m <sup>3</sup>	30 cm	59,16 dB
Hormigón en masa	2.000 - 2.300 Kg/m <sup>3</sup>	30 cm	57,85 dB
Bloque de hormigón	860 Kg/m <sup>3</sup>	20 cm	46,10 dB
Ladrillo macizo	2,170 Kg/m <sup>3</sup>	30 cm	58,61 dB
Ladrillo hueco	670 Kg/m <sup>3</sup>	30 cm	47,56 dB

Fig 30: Comparación del aislamiento acústico de distintos materiales

Fuente: G.Minke, 2006

### 3.3.4. Comportamiento frente a las inclemencias del tiempo

Los interesantes acabados tanto en tonalidad como en textura son uno de los aspectos más atractivos de la tierra pisada por ello se suele dejar este material visto en los paramentos. Este hecho lo expone frente a los agentes atmosféricos que son la principal amenaza de la construcción en tierra pisada. La erosión del viento, la lluvia y las heladas pueden causar estragos en el material si no se llevan a cabo las correspondientes protecciones.

La erosión por causa del viento o de la lluvia provoca la degradación de la tierra pisada. Para minimizar este efecto se emplean estabilizantes como el cemento o la cal que se añaden a la mezcla de barro antes de verterla en el encofrado. Generalmente los estabilizantes oscilan entre el 6 y 10% de la masa de la mezcla (Font, 2011). En la actualidad también se emplean sustancias hidrófugas o resinas de silicona que ayudan a minimizar el deterioro por impacto. Estos productos alteran la naturalidad de la tierra y desvirtúan por

<sup>14</sup> Aislamiento acústico: Protección de un recinto frente a la penetración de sonidos exteriores al mismo. Reducción del ruido aéreo o estructural.

tanto su arquitectura. Frente a esto el arquitecto Martin Rauch se pregunta: ¿Por qué no hacer posible una erosión calculada con un proceso de envejecimiento controlado, como un elemento formal más? Esta cuestión le ha llevado a experimentar con múltiples técnicas una de ellas consiste en intercalar lechadas de mortero de cal entre las tongadas de tierra que además de aumentar la resistencia a la erosión aumenta también la resistencia a compresión. Las combinaciones de tongadas de tierra con otras de cal generan efectos plásticos que enriquecen el proyecto.

En el caso de la lluvia, la tierra es capaz de absorber el agua de la misma y liberarla posteriormente. En principio, con una cimentación adecuada y un alero que proteja la cumbrera del muro del agua de lluvia, se asegura la protección del muro. En invierno a causa de las bajas temperaturas el agua que ha penetrado tras la lluvia puede helarse y hacer un efecto de cuña pudiendo fragmentar el muro. Este se soluciona con el uso de impermeabilizantes (Minke, 2006). Existen impermeabilizantes naturales como aceites de linaza o ceras que protegen satisfactoriamente el material (di Paoli, 2014). La conservación preventiva del muro y un buen mantenimiento la tierra pisada permite hacer frente a estos agentes externos garantizando las propiedades técnicas y plásticas requeridas del material.

### 3.3.5. Comportamiento frente al fuego

La tierra al tratarse de un material de origen mineral es prácticamente incombustible y no propaga el fuego. El tapial posee una gran capacidad estática y es estable a altas temperaturas lo que garantiza su solidez estructural durante el desarrollo de un posible incendio. Además gracias a la ausencia de compuestos químicos en su mezcla tampoco emite gases tóxicos. La normativa neozelandesa en el apartado 5.5.1 otorga una resistencia al fuego REI 120 para muros de tierra de espesor 150mm aunque admite valores mayores en caso de ser debidamente justificado tras pruebas en un laboratorio (NZS 4297:1998). Este valor es similar al de otros materiales como el ladrillo o el hormigón y sería capaz de cumplir las exigencias básicas del DB-SI del CTE 2006.

Material	Espesor	REI (min)
Muros de tierra	15 cm	90
Hormigón armado	16 cm	90
Bloque de hormigón	20 cm	120
Muro de ladrillo	11 - 20 cm	120

Fig 31: Comparación de la resistencia al fuego de los materiales  
Fuente: S.Bestraten, 2011



### 3.4. Criterios medioambientales

Como hemos visto en el apartado 2.3 la tierra pisada es un material que permite reducir el impacto ambiental de la construcción. La inmediatez de su producción, la reducción del transporte y la ausencia de transformación de la materia prima permiten que la energía gris de la tierra pisada sea nula. Como podemos observar en la siguiente tabla durante su proceso de elaboración el tapial emite un 2% del CO<sub>2</sub> generado en los procesos de fabricación de hormigón o de ladrillo (Bestraten, 2011).

Material pared	Densidad	Emisiones (Kg)	Emisiones (m <sup>3</sup> )
Tierra pisada	2.200 Kg/m <sup>3</sup>	0,004 Kg CO <sub>2</sub> /Kg	9,7 Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
Adobe	1.200 Kg/m <sup>3</sup>	0,06 Kg CO <sub>2</sub> /Kg	74 Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
Hormigón en masa	2.360 Kg/m <sup>3</sup>	0,14 Kg CO <sub>2</sub> /Kg	320 Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
Hormigón pref.	2.500 Kg/m <sup>3</sup>	0,18 Kg CO <sub>2</sub> /Kg	455 Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
Ladrillo macizo	1.600 Kg/m <sup>3</sup>	0,19 Kg CO <sub>2</sub> /Kg	301 Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
Ladrillo hueco	670 Kg/m <sup>3</sup>	0,14 Kg CO <sub>2</sub> /Kg	95 Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>

Fig 32: Comparación de emisiones de CO<sub>2</sub> de distintos materiales  
Fuente: S.Bestraten, 2011

Para analizar mas en detalle las ventajas medioambientales del tapial frente a otras soluciones de cerramiento convencionales se utiliza al programa COCOON. Este software francés permite comparar distintas soluciones de cerramiento desde un punto de vista térmico y medioambiental. En el análisis el muro de tapial de 30 cm se compara otros tres tipos de muro:

#### Muro de bloques de cemento

Enlucido mineral (2cm)  
Bloque de cemento (20cm)  
Aislante lana de vidrio (20cm)  
Placa de yeso (1.3cm)

#### Muro de ladrillo

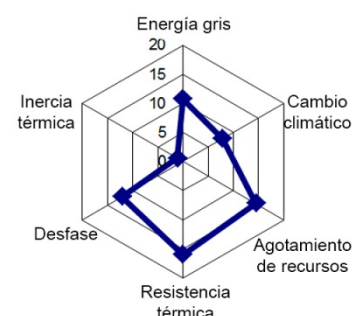
Enlucido mineral (2cm)  
Ladrillo cerámico hueco (20cm)  
Aislante lana de vidrio (13cm)  
Placa de yeso (1.3cm)

#### Muro de madera

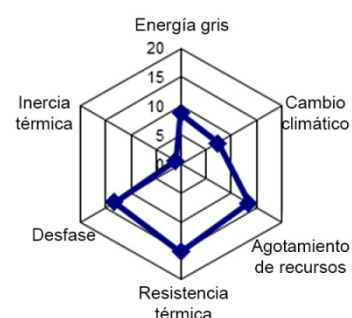
Rev. madera (2,2cm)  
Camara de aire (3cm)  
Fibra de madera (10cm)  
Panel OSB (0.9cm)  
Lana de madera (14cm)  
Lamina para-vapor  
Fermacell (1.3cm)

Los gráficos situados al margen [Fig.33] permiten comparar de un solo vistazo las calificaciones de los cuatro tipos de muro en seis campos distintos. La madera puede parecer a simple vista que es el que mejor nota obtiene por el valor de cambio climático que debe ser analizado. El programa valora en negativo el CO<sub>2</sub> retenido en las células de la masa vegetal lo que genera una emisión de CO<sub>2</sub> de -88,7 Kg/m<sup>2</sup>. Este valor negativo indica que la madera está fijando CO<sub>2</sub> de la atmósfera que devolverá al medio tras su descomposición. Tras esta aclaración, el muro de tierra pisada ofrece las mejores prestaciones salvo en resistencia térmica que se ve compensada con la buena inercia que posee. En energía gris y agotamiento de recursos obtiene los mejores resultados al ser la tierra pisada un material ilimitado que no requiere transformación. Gracias a este análisis podemos concluir que el muro de tierra pisada es capaz de respetar el medioambiente sin minimizar sus capacidades técnicas.

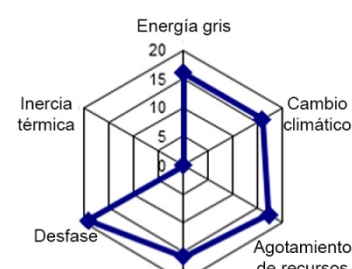
Muro de bloques de cemento e:43.3cm



Muro de ladrillo cerámico e:36.3cm



Muro de madera e:31.4cm



Muro en tapial e:40cm

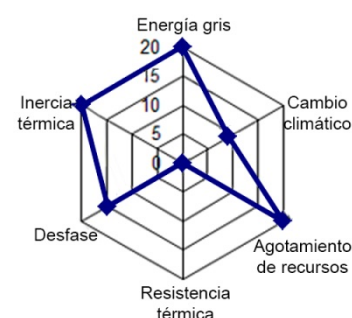


Fig 33: Comparación de criterios sostenibles de cerramientos.  
Fuente propia (COCOON)



Fig 34: Escuela Agrícola en Mezzana  
Fuente: Pierre Frey

### 3.5. Criterios proyectuales

Las características técnicas de la tierra pisada analizadas con anterioridad, especialmente su comportamiento estructural, condicionan en gran medida su arquitectura. A la hora de concebir un proyecto con este material hay que tener en cuenta que la tierra pisada es un cerramiento portante al contrario que otras soluciones de la contemporaneidad. Por ello la envolvente del proyecto no es una simple piel sino que es estructura. El cerramiento adquiere una tercera dimensión, la profundidad, a menudo obviada en la arquitectura actual en la que la envolvente se reduce a una simple línea. El espesor del muro y la densidad de los muros portantes dan un aspecto masivo y estereotómico al proyecto que nos retrotrae a estilos anteriores como el románico una arquitectura de carácter humilde pero rotunda.

Por otro lado, con la arquitectura en tierra se recupera la importancia del hueco en la arquitectura contemporánea. Por sus condicionantes constructivos esta arquitectura no admite grandes paños de vidrio en su envolvente. Esta arquitectura en tierra se desliga de la idea de cerramiento como piel o envolvente extendida en la actualidad y le aporta masividad. Los huecos de medianas dimensiones adquieren carácter gracias a la profundidad del muro y la sombra arrojada sobre ellos [Fig 34]. Por esta razón sería más correcto hablar de oquedades en lugar del término arraigado de “ventanas”. Existen múltiples posibilidades creativas y de diseño que aúnan lo técnico y lo estético. La correcta maestría de estos condicionantes junto con una buena explotación de las características técnicas y plásticas del material son los que hacen un proyecto en tierra cruda de calidad.



### 3.6. Criterios sensoriales

La recuperación de la tierra en la arquitectura contemporánea ha abandonado la idea de revocar el muro de tapial como se hacía tradicionalmente sino que opta por dejar el material visto. Este gesto permite apreciar táctil y visualmente la naturaleza de la tierra pisada. En un paramento es posible apreciar las distintas capas del material que muestran el proceso de puesta en obra como si de un libro se tratara. Estas capas de tierra pisada se pueden combinar con diversas tonalidades resaltando su valor estético. Los tonos terrosos dan calidez al interior de un espacio que no sólo se concibe para ser fotografiado sino también para ser habitado.

La arquitectura en tierra es una arquitectura de los sentidos. El sistema renacentista de los sentidos estaba relacionado con la imagen del cuerpo cósmico; la visión guardaba correlación con el fuego y la luz, el oído con el aire, el olfato con el vapor, el gusto con el agua y el tacto con la tierra. En la actualidad la vista predomina sobre el resto de los sentidos que apenas influyen en la arquitectura. Es necesario descubrir los sentidos abandonados pues según algunos filósofos como Heidegger o Nietzsche la vista nos separa del mundo y el resto de los sentidos nos une a él (Pallasmaa, 2014).

La construcción en tierra evoca una arquitectura más háptica<sup>15</sup> que visual ligada a la materialidad y la textura. La tierra es un material para ser tocado. Tocar la arquitectura frente a la mera visión de la misma permite una mayor aproximación al edificio. Esta interacción hacen que el usuario forme parte de la propia arquitectura. Lo conecta a ella. La siente y la toca.

Otro modo de tocar la arquitectura es el olfato. El característico aroma a tierra lo diferencia de otros materiales inoloros de la contemporaneidad. Se evoca lo natural, lo campestre. La nariz hace que los ojos recuerden. La visión simplemente revela lo que el tacto ya conoce. El ojo acaricia superficies terrosas y siente su peso y su textura (Pallasmaa, 2014). Por todo ello la arquitectura en tierra pisada es una arquitectura de sentidos.

---

<sup>15</sup> Ciencia que estudia el sentido del tacto.

### 3.7. Prejuicios de la tierra como material en la actualidad

Hoy en día pese a constatar los arquitectos el gran potencial de la tierra pisada en la construcción existen prejuicios acerca de este material, todavía extendidos en la sociedad. En los países desarrollados se menosprecia a la tierra pisada frente a otros materiales más conocidos como el hormigón. Pese a ser ampliamente utilizado en la arquitectura tradicional muchos ven la tierra pisada como un método constructivo desfasado y humilde más característico de países en vías en desarrollo que de la moderna sociedad occidental.

Otro aspecto que preocupa es la falta de confianza sobre la calidad del material. Para muchas personas resulta inaudito que la misma tierra extraída para realizar la cimentación del edificio se emplee posteriormente para levantar la construcción. Por ello es importante recalcar que se realizan numerosos controles in situ como test de resistencia o análisis químicos que garantizan la calidad del material. En ocasiones la tierra extraída no cumple al cien por cien las calidades exigidas (exceso de áridos, falta de humedad,...) por lo que se recurre al aporte de tierra tratada previamente en fábrica que añadida al material existente mejora sus propiedades constructivas.

Existe también cierto temor a la existencia de insectos y bacterias en las paredes realizadas en tierra especialmente mediante el método de bahareque<sup>16</sup>. Para evitar la proliferación de bacterias se recomienda evitar el exceso de aditivos orgánicos a la tierra. El mal de Chagas o tripanosomiasis americana es una enfermedad parasitaria tropical causada por algunos insectos (triatominos) que residen en los huecos de los muros de bahareque en América Latina (Minke, 2006). La técnica de la tierra pisada elimina la existencia de huecos en el muro además el clima mediterráneo permite un buen secado de la tierra garantizando la salud del usuario.

Por otro lado existen dudas frente a la durabilidad de la tierra pisada expuesta a la intemperie. Este material posee una escasa resistencia a la abrasión por lo que las acciones del viento o de la lluvia pueden afectar gravemente a la tierra pisada. Para ello es recomendable realizar una serie de protecciones para minimizar el impacto de los factores ambientales. Normalmente se emplean revestimientos como enlucidos, lechadas de cal, silicatos y ceras. Es importante un buen mantenimiento del revestimiento (Maniatidis & Walker, 2003). En el caso de los enlucidos de tierra que guardan la esencia de la tierra pisada es recomendable renovarlo anualmente especialmente en zonas climáticas con lluvias abundantes.

La tierra pisada pese a parecer un material que puede ensuciar al desprenderse polvo y arena puede hacerse más resistente a la abrasión aplicando una ligera capa de caseína o de aceite de linaza. Esto también facilita su limpieza. El uso de tierra pisada en zonas

---

<sup>16</sup> Método tradicional de construcción de viviendas mediante cañas entretrejidas y barro, característico de Colombia y Venezuela.

húmedas como baños o cocinas también genera dudas al considerarse poco higiénico. Sin embargo es todo lo contrario, este material resulta igual de idóneo que la tradicional baldosa cerámica. La tierra pisada es capaz de absorber la humedad del ambiente cuando esta es alta y liberar esta humedad cuando la estancia está más seca. Al reducir la humedad ambiental disminuye el riesgo de la aparición de hongos que aparece en ocasiones entre las juntas de las baldosas (Minke, 2006).

Como hemos visto todos estos prejuicios o son falsos o tienen una sencilla solución. Desmontando estos mitos es posible cambiar la visión de la sociedad sobre este material limpio, higiénico y de alta calidad.



## 4. Caso de estudio: La arquitectura de Martin Rauch

Tras haber analizado pormenorizadamente las características de la tierra como material y los criterios para construir una arquitectura en tierra de calidad es necesario estudiar un caso que cumpla estos principios. Por ello se elige como caso de estudio la arquitectura de Martin Rauch donde la calidad técnica y plástica es palpable en sus proyectos.

### 4.1. Martin Rauch: De la artesanía a la arquitectura

El nombre de Martin Rauch está estrechamente vinculado a la arquitectura en tierra. Nacido en Schlinss (Austria) en 1958, estudió en la Academia de Bellas Artes de Viena donde se especializó en productos cerámicos. Allí publicó en 1983 su tesis “Lehm-Ton-Erde” (Loam-Arcilla-Tierra, en Alemán) que supuso el punto de partida en su trayectoria personal de la construcción en tierra cruda. Con ese nombre fundó su propio taller. Esas tres palabras simbolizan su filosofía de trabajo. El Loam se refiere a la artesanía y la técnica, la Arcilla al diseño artístico del material y la Tierra a la sostenibilidad de la arquitectura que propugna ([www.lehmtonerde.at](http://www.lehmtonerde.at)).

Un factor importante es que Rauch no descubrió la construcción en tierra desde la arquitectura sino desde su formación como escultor. Este hecho es visible en su sensibilidad a la hora de trabajar el material y explotar sus cualidades artísticas. Por ello no nos encontramos frente a la figura de un arquitecto sino más bien de un artesano que moldea espacios en tierra colaborando con diversos estudios de arquitectura (Kapfinger, *Terrestrial Building*, 2010).

Su manera de concebir la arquitectura busca aunar el arte plástico y la sostenibilidad del material, la tierra le da todo lo que busca. En palabras de Martin Rauch: “La tierra es un material erosionado que está en todas partes. Se puede tomar, mezclar con agua, moldear y, al final, se puede devolver a la naturaleza.” (Burk, 2014). Rauch trabajaba en sus inicios con la idea de arte povera investigando materiales naturales y primitivos con los que creaba arte. Estos conceptos artísticos los extrapoló al espacio y con la ayuda de la técnica constructiva los formalizó dando lugar a una interesante obra arquitectónica (Rauch & Bolthauser, *Haus Rauch*, 2010).

La obra de Martin Rauch no es posible comprenderla sin tratar los aspectos técnicos de la misma. En su taller experimenta e investiga sobre las propiedades de la tierra cruda así como nuevas técnicas constructivas que se puedan implantar en la actualidad. Con la tendencia en los últimos años hacia la prefabricación de los elementos constructivos el taller ha comenzado a trabajar con prefabricados en tierra que están siendo comercializados en la actualidad. El taller está en constante evolución y en él conviven desde las técnicas artesanales como la cocción de piezas cerámicas



Fig 35: Martin Rauch  
(Schlinss, 1958)  
Fuente: Alexandra Grill



Fig 36: Cementerio de Schlins  
Fuente: Bruno Klomfar

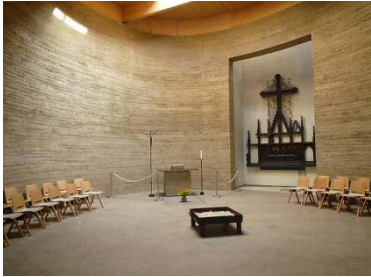


Fig 37: Capilla de la reconciliación  
Fuente: Bruno Klomfar



Fig 38 Establo Piazza Pingia  
Fuente: Lehm Ton Erde



Fig 39 Escuela Agrícola de Mezzana  
Fuente: Lehm Ton Erde



Fig 40 Centro de hierbas Ricola  
Fuente: Ricola

a baja temperatura hasta piezas de mayor complejidad como paneles de tierra pisada prefabricada. (Kapfinger, Terrestrial Building, 2010)

Con la sensibilidad heredada de su formación como ceramista y el desarrollo técnico propiciado por sus investigaciones en taller, Martin Rauch ha sido capaz de recuperar el lenguaje de la tierra pisada como material de construcción y adaptarlo a la arquitectura contemporánea.

## 4.2. Selección de proyectos en tierra pisada

Martin Rauch ha colaborado con diversos estudios de arquitectura en proyectos de arquitectura contemporánea en tierra pisada. Su taller Lehm-Ton-Erde se ha ocupado del diseño y de la ejecución en obra de los elementos en este material ya sean muros in situ o prefabricados de tierra pisada. En este trabajo se presentan diversos ejemplos tanto por escala como por uso pero todos ellos con un denominador común: La buena utilización de la tierra pisada como material de construcción.

Proyectos analizados de tierra pisada con ejecución in situ:

- Selección de arquitectura fúnebre [Fig 36].
- Capilla de la Reconciliación (Berlín, Alemania, 1990-2000) en colaboración con Reitermann & Sassenroth [Fig 37].
- Rehabilitación del establo Piazza Pintgia (Almens, Suiza, 2008-2010) en colaboración con Gujan & Pally [Fig 38].
- Escuela agrícola (Mezzana, Suiza, 2010-2012) en colaboración con Conte Pianetti Zanetta Architetti [Fig 39].
- Centro de hierbas Ricola (Laufen, Suiza, 2010-2014) en colaboración con Herzog & deMeuron [Fig 40].

#### 4.2.1. Tierra pisada y cristianismo: Arquitectura fúnebre.



Fig 41 Cementerio de Batschuns. Fuente: Lehm Ton Erde

Numerosos son los proyectos de cementerios realizados por Martin Rauch y su atelier. En esta arquitectura fúnebre se plasma la esencia de la tierra cruda a nivel simbólico, plástico y estructural. El material se apisona en muros de tapial que configuran el paisaje del cementerio generalmente actuando de cancela entre el mundo de los vivos y el de los muertos ([www.lehmtonerde.at](http://www.lehmtonerde.at)). La idea cristiana del barro con el que se formó el hombre recobra importancia y es con este mismo barro, materia espiritual y humana, con el que se realiza el muro del camposanto.



Fig 42 Tanatorio de Jung. Fuente: Lehm Ton Erde

A nivel plástico destaca la sencillez en la textura y la buena integración de la tierra pisada en el entorno. Tanto en el cementerio de Schlins (Austria, 2001) como en el tanatorio de Jung (Austria, 2009) Martin Rauch emplea la idea de grieta [Fig 42]. El paramento se ve fragmentado y transmite una imagen potente con el simbolismo que esta grieta evoca del paso a otro mundo.

El muro es un trazo modesto cuyo comportamiento estructural es un simple muro de carga expuesto a la intemperie por lo que requiere



de tratamientos contra la erosión analizados anteriormente en el trabajo. En el caso del cementerio de Hergiswil (Suiza, 2005) los monolíticos muros de tapial se protegen con hojas de bronce [Fig 41].



Fig 43 Cementerio de Hergiswil. Fuente: Lehm Ton Erde

Un caso interesante es el del cementerio de Wil (Suiza, 1999) donde Martin Rauch hace una intervención de Land Art. Un camino flanqueado por dos muros de tierra pisada se riza sobre sí mismo actuando de metáfora de la dinámica de la vida y simboliza la transición entre la vida y la muerte (Kapfinger, Rammed Earth, 2002).

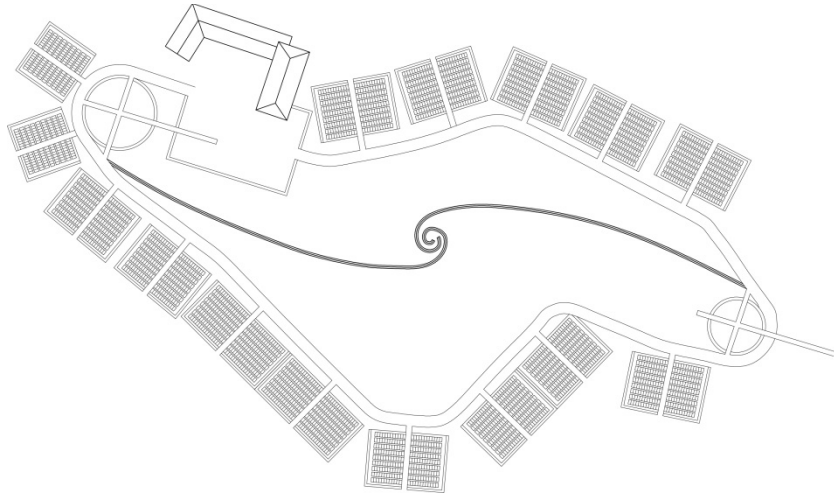


Fig 44 Cementerio de Wil. Fuente: (Kapfinger, Rammed Earth, 2002)

Como se puede observar en los ejemplos anteriores la arquitectura funeraria de Rauch explota al máximo las características plásticas y maleables de la tierra para evocar al simbolismo de un lugar con tanta importancia poética como un cementerio. Al igual que el camposanto, la tierra es un material entre lo terrenal y lo espiritual.



#### 4.2.2. Tierra pisada y simbolismo: Capilla de la Reconciliación (Berlín, Alemania, 1990-2000)

En 1999 se propone el proyecto de una capilla que conmemore el 10º aniversario de la caída del muro de Berlín. El solar elegido es el de la antigua iglesia de la reconciliación, demolida en 1961 al estar situada en la franja de la muerte contigua al muro y posteriormente devuelta a la comunidad religiosa. El proyecto inicial establece una plaza de acceso que recogía en un trazo la huella de la antigua iglesia y una pequeña capilla formada por dos cuerpos en forma de ovalo. Uno exterior en acero y otro interior en hormigón. La forma oval evocaba la idea de encuentro entre los berlineses. Además el óvalo exterior mantiene el eje de la iglesia original y el interior recrea el eje tradicional este oeste de las iglesias cristianas. El proyecto original se mantuvo en forma pero no en material ya que los materiales propuestos se cambiaron por madera y tierra pisada de carácter más modestos y respetuosos con el medio ambiente (Kapfinger, Rammed Earth, 2002).

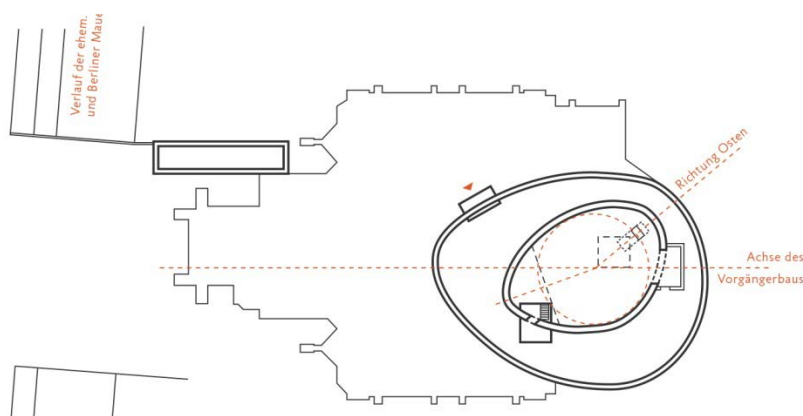


Fig 45 Planta. Fuente: Dechverband lehm

De este modo el proyecto se concibe mediante el diálogo de dos materiales tradicionales, la tierra y la madera [Fig 47]. La madera sin tratar se dispone de piel exterior como un velo translúcido alrededor del ovalo interior realizado en tierra pisada. Pese a tratarse de dos materiales tradicionales se oponen en concepto, lo ligero y lo pesado, lo opaco y lo translucido, la piel y el núcleo,... Un juego de oposiciones que da carácter al proyecto. La utilización de la tierra por Rauch en esta capilla nos retrotrae al primer apartado de este trabajo donde se explicaba la importancia de la tierra en la tradición cristiana. En el proyecto, la tierra como materia física y espiritual configura el núcleo interior de la capilla que sirve de refugio y recogimiento a los feligreses. El color terroso de las paredes junto con la homogeneidad y horizontalidad de las tongadas de tierra generan un espacio tranquilo y sobrio donde dedicarse a la contemplación divina. El espacio interior minimalista se limita a la sinceridad del material en las paredes y un bloque masivo de tierra pisada que actúa de altar. En un lateral, en el eje de la iglesia original se dispone un antiguo retablo recuperado antes de la demolición (kapelle-versoehnung.de).



Fig 46 Demolición de 1961  
Fuente: kapelle-versoehnung.de

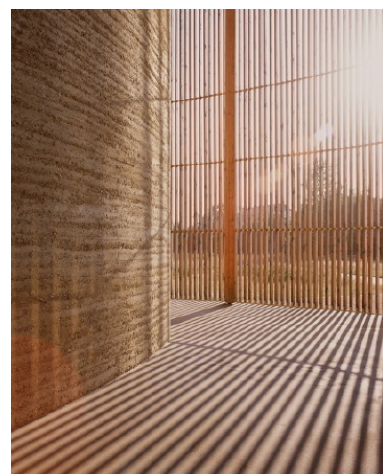


Fig 47 Doble materialidad  
Fuente: BauNetz



Fig 48 Fragmento de la iglesia original  
Fuente: kapelle-versoehnung.de

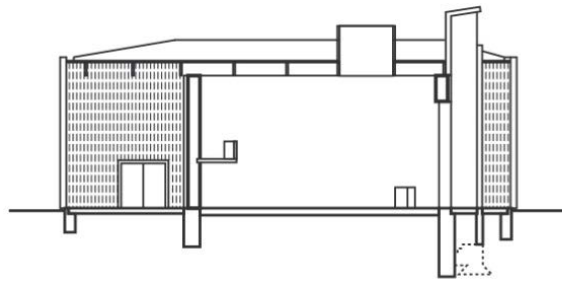


Fig 49 Sección.  
Fuente: Dechverband lehm



Fig 50 Apisonado de la tierra  
Fuente: kapelle-versoehnung.de



Fig 51 Desplazamiento del encofrado  
Fuente: kapelle-versoehnung.de



Fig 52: Pórticos de madera  
Fuente: kapelle-versoehnung.de

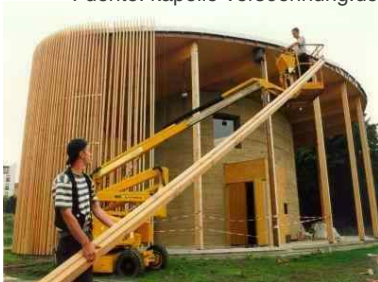


Fig 53 Colocación de la piel de madera  
Fuente: kapelle-versoehnung.de



Fig 54 Textura y abstracción. Fuente: Lehm Ton Erde

Martin Rauch dirigió el proceso constructivo que estuvo marcado por importantes medidas legales al tratarse de la primera construcción de tierra pisada en 100 años. Los estándares de seguridad estructural se ampliaron hasta ser siete veces superiores a los estándares tradicionales. Además se contó con el apoyo técnico de la Universidad de Berlín para realizar el testeo de los materiales. Se emplearon 390 toneladas de tierra ( $160\text{m}^3$ ) y se levantaron muros de 7,2m de altura y 60cm de espesor en tierra pisada mediante encofrados. La puesta en obra de la tierra pisada se realizó con encofrados de madera para realizar fácilmente la forma del óvalo y la ayuda de pisones mecánicos para compactar la tierra. La composición empleada se asemeja a un hormigón convencional pero en lugar de cemento se empleó tierra arcillosa junto con áridos. Como aditivo se añadió fibra de lino para mejorar el comportamiento estructural del muro. A esta mezcla Rauch añadió fragmentos de ladrillo de la iglesia original visibles en las paredes de la capilla [Fig 48]. Es un recuerdo poético de lo que antiguamente fue la iglesia de la reconciliación erigida de nuevo en forma de capilla a partir de sus escombros aglutinados en un material humilde y cristiano como es la tierra.



#### 4.2.3. Tierra pisada y tradición: Establo Piazza Pintgia (Almens, Suiza, 2008-2010)

Esta pequeña intervención busca rehabilitar unos antiguos establos en una vivienda contemporánea empleando materiales tradicionales y teniendo en cuenta la iluminación natural. Esta pequeña intervención tiene como concepto no perder la esencia de la construcción original realizada en madera piedra y tierra que estaba en mal estado. El empleo de estos materiales viene dado por la tradición constructiva local. Pese a que la estructura principal renovada se levanta en madera maciza el empleo de la tierra pisada no es menos importante. La tierra al ser un buen regulador higrotérmico absorbe la humedad de la madera mejorando su conservación. Se crean una serie de muros interiores estructurales en tapial que permiten soportar las nuevas sobrecargas de la vivienda y separar espacios visualmente sin necesidad de puertas (Gujan & Pally, 2010).



Fig 57 Exterior. Fuente: Lehm Ton Erde



Fig 58 Interior. Fuente: Lehm Ton Erde

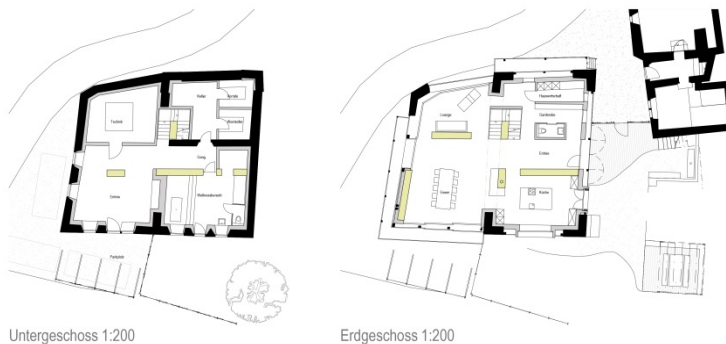


Fig 55 Plantas. Fuente: Gujan + Pally

Además la buena inercia térmica del material garantiza un calor constante y agradable en invierno. Rauch diseña la estufa tradicional de madera situada en el centro de la vivienda en tierra pisada para aprovecharse de la inercia térmica y repartir homogéneamente el calor por la vivienda. ([www.lehmtonerde.at](http://www.lehmtonerde.at)).



Fig 56 Ambiente interior. Fuente: Lehm Ton Erde

#### 4.2.4. Tierra pisada y prefabricación: Escuela agrícola (Mezzana, Suiza, 2010-2012)

El proyecto de Conte Pianetti Zanetta Architetti y Martin Rauch surge a partir de la lectura del lugar. Mezzana es un pequeño municipio donde conviven lo natural y lo construido y este es el concepto de partida del edificio. Tres pequeños volúmenes buscan generar llenos y vacíos de modo que se crean plazas y espacios públicos siguiendo un esquema urbano ([www.conteam.ch](http://www.conteam.ch)). El material elegido está íntimamente ligado al lugar y al programa. La tierra es la base de la agricultura, en ella se siembra, ara, cosecha y permite dar sustento a la comunidad agrícola de la localidad. La tierra donde se cultiva se convierte en la fachada de esta escuela en aras de una visión poética de la agricultura.

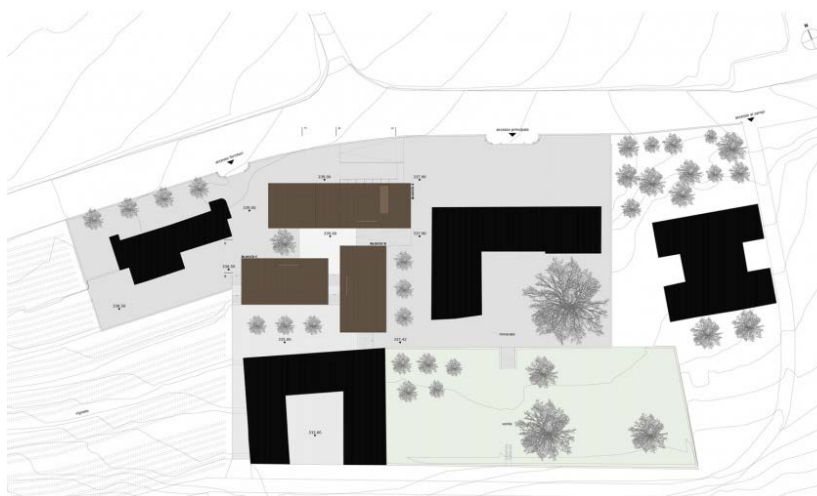


Fig 59 Inserción en el contexto. Fuente: Lehm Ton Erde

Uno de los aspectos más interesantes del proyecto es el tratamiento del hueco. Como se ha mencionado con anterioridad el muro adquiere una tercera dimensión, la profundidad, y en el caso de este proyecto se refleja en su fachada de tierra pisada horadada. El hueco busca ser un elemento que rasga la fachada, un vacío en la densidad del muro, un elemento entre lo técnico y lo artístico. El ritmo de las oquedades se realiza con finas carpinterías en acero corten dejando amplios paños de vidrio que enfatizan la idea de contraposición entre el lleno y el vacío.



Fig 60 Fachada. Fuente: Lehm Ton Erde

Desde el inicio del proyecto la vertiente arquitectónica está ligada al desarrollo constructivo de la escuela agrícola. El proyecto se concibe desde la técnica. El sistema elegido es la prefabricación de paneles en tierra pisada que pese a no ser un sistema estructural supone un avance frente al tradicional sistema de tapial. Para conseguir paneles de 4m con granulometría y color homogéneos se emplea un encofrado con una longitud igual a la de la fachada donde se vierte la tierra y se apisona. Cada pocas tongadas de tierra se intercala una fina capa de mortero de cemento que permitirá controlar la erosión del muro (Frey, 2013).



Fig 61 Almacén de prefabricados en tierra pisada. Fuente: Lehm Ton Erde

Al igual que sucede con la prefabricación del hormigón, la producción en serie de paneles de tierra permite racionalizar la construcción y optimizar la productividad en obra (Frey, 2013). El principio de la prefabricación en tierra pisada pese a ser innovador plantea numerosas cuestiones. En el caso de esta escuela resulta preocupante pensar que el muro en tierra no sustenta al edificio y es una mera envolvente con buena inercia térmica. La tierra carece de esencia, no sustenta y todo parece indicar que se emplea como una mera textura, un acabado plástico con el que enmascarar la realidad estructural del edificio. Este aspecto resulta muy criticable y puede deberse a razones de escasez de medios o falta de innovación que con el paso de los años hallará solución. Martin Rauch tiene frente a él un gran reto: Lograr integrar la capacidad estructural, técnica y plástica en un prefabricado de tierra pisada.

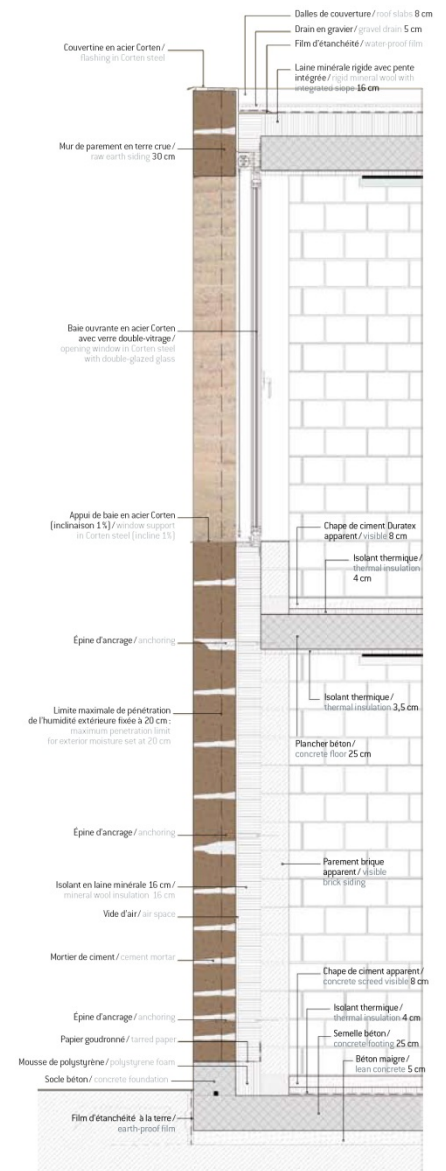


Fig 62 Detalle. Fuente: Frey, 2013



#### 4.2.5. Tierra pisada y paisaje: Centro de hierbas Ricola (Laufen, Suiza, 2010-2014)



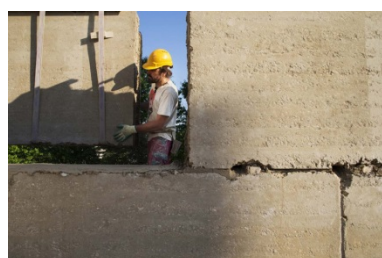
Preparación de la tierra para prefabricado



Panel acabado



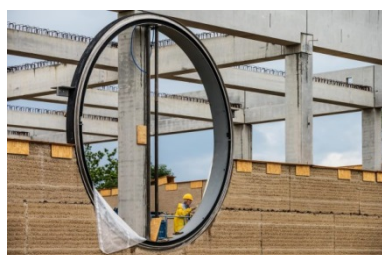
Puesta en obra



Puesta en obra



Sellado de juntas



Ajuste con la ventana circular

Fig 64-70 Proceso Constructivo  
Fuente: Baunetz

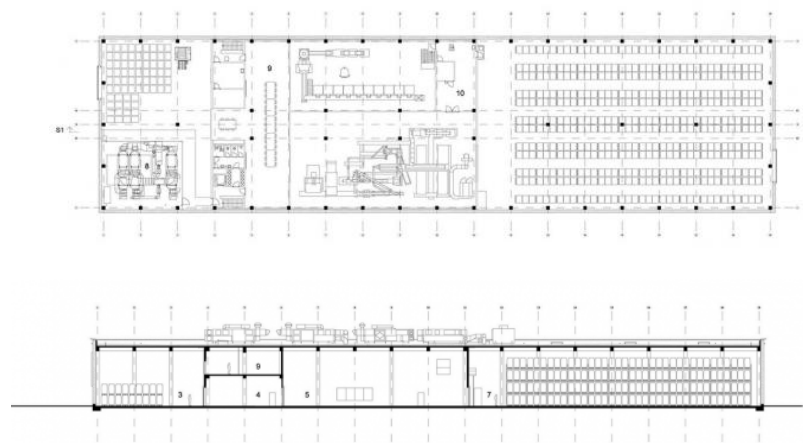


Fig 63 Planta y Sección. Fuente: Herzog & de Meuron

Los paneles de tierra pisada son visibles tanto en el interior como en el exterior y configuran una fachada autoportante. La estructura interior es de hormigón. Con este material pretende vincular el edificio al lugar. En palabras de Pierre deMeuron *“Como arquitecto se debe tener en cuenta el lugar donde el edificio se levantará. El material usado para construir la envolvente del Centro de Hierbas procede de un radio de entre 8 y 10km del solar. El edificio se construye a partir de la tradición local sobre la que se levanta”* Por ello el material empleado es la tierra de las canteras del lugar. Los paneles prefabricados son realizados en un pueblo cercano por el taller Lehm-Ton-Erde, liderado por Martin Rauch. Los paneles se disponen en fachada con la ayuda de grúas y las costuras se eliminan manualmente para dar un acabado homogéneo. Para reducir la erosión del material se dispone un mortero mezclando toba volcánica y cal cada ocho tongadas de tierra aportando plasticidad visual al panel al subrayar la horizontalidad de las capas de tierra ([www.lehmtonerde.at](http://www.lehmtonerde.at)).

Por otro lado eficiencia energética no es un añadido posterior sino que forma parte del propio proyecto y como tal aparece en las exigencias iniciales del proyecto. La tierra pisada permite cumplir con los intereses medioambientales de la compañía. Como se ha visto en

aparatos anteriores la tierra pisada posee un buen comportamiento higrotérmico y es un buen aislamiento gracias a la alta inercia térmica logrando reducir las pérdidas energéticas del edificio. El edificio posee paneles fotovoltaicos en cubierta y recuperadores de calor para aprovechar energías renovables ([www.herzogdemeuron.com](http://www.herzogdemeuron.com)).

El proyecto consigue plasmar todo aquello que la compañía Ricola defiende: Una empresa preocupada por el medio ambiente, innovadora, y arraigada a su tierra (Ricola, 2014). Mediante la envolvente de tierra pisada el bloque errático se integra en el lugar pese a su gran dimensión. Gracias a sus tonos terrosos y la naturalidad del material el Centro de hierbas forma parte del paisaje y el paisaje forma parte del proyecto. Encuadrado en un paisaje rodeado de montañas y bosques emerge una nave de tierra en un mar de hierbas.



Fig 71 Inserción en el entorno. Fuente: Iwan Baan

### 4.3. Casa Rauch (Schlinss, Austria)

En el pequeño pueblo de Schlinss aparece enclavada en una pendiente hacia el sur la Casa Rauch. La vivienda realizada por Martin Rauch (a la vez cliente y proyectista) en colaboración con el arquitecto Roger Bolthausen logra explotar en un único proyecto los criterios técnicos, plásticos y proyectuales de la tierra pisada anteriormente tratados. La vivienda es un manifiesto donde Martin Rauch expone su particular visión de la construcción en tierra:

- Ser capaz de reconvertirse en su materia inicial sin generar residuos.
- Reducir el consumo energético al mínimo.
- Emplear un material sencillo y económico.
- Demostrar al mundo que una arquitectura contemporánea en tierra pisada es posible (Kapfinger, Terrestrial Building, 2010).

#### 4.3.1. Concepto

Martin Rauch busca para su vivienda la pureza del material y de la forma, huyendo de los clichés de la construcción actual en tierra y de la ingenuidad de la arquitectura ecológica. Gracias a su innovación y experimentación adquiere una madurez a nivel técnico y formal que le permiten sentar las bases de una nueva arquitectura en tierra pisada contemporánea (Rauch & Bolthausen, Haus Rauch, 2010).

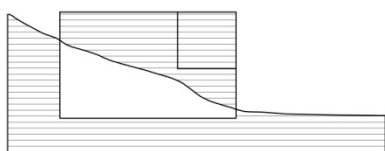
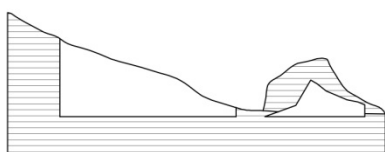
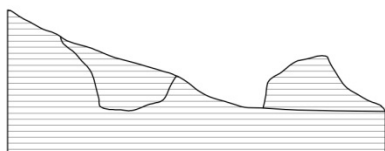
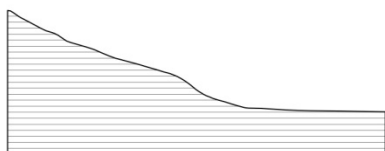


Fig 73 Evolución del concepto  
Fuente: Martin Rauch. Adaptado



Fig 72 Casa Rauch. Fuente: Beat Bühler

La vivienda tiene la apariencia de un bloque escultórico en tierra pisada que más que emerger de la pendiente se funde con ella en un mismo material. La Casa Rauch está realizada en un 85% con la tierra excavada de la propia pendiente. Muros, suelos, techos y superficies emplean la tierra del lugar ya sea en crudo o cocida. El volumen se excava y moldea a partir de la propia pendiente; el concepto no es otra cosa que la geometrización de la propia tierra de la que emana [Fig 73]. La propia materia de la parcela se moldea, vierte y pisa para configurar un refugio contemporáneo, una pieza tectónica de volúmenes puros estrechamente vinculada al lugar.



### 4.3.2. Erosión y temporalidad. El paso del tiempo.

Uno de los aspectos que más importa a Martin Rauch, y también a los arquitectos, es la influencia de los agentes atmosféricos en el envejecimiento del edificio. Rauch posee una visión muy particular: *“¿Por qué no hacer posible una erosión calculada con un proceso de envejecimiento controlado como un elemento formal más?”* Ésta inquietud surge en su exposición de 2010 titulada Erosión. En ella se puede establecer una analogía con Viollet le Duc quien en el S.XIX comparaba poéticamente la ruina de la catedral gótica y las inclemencias a las que le habían llevado a tal estado, con la cima del Mont Blanc azotada por el viento y la nieve. Martin Rauch es consciente que el principal problema de la construcción en tierra es su escasa resistencia a la abrasión. En su obra transforma este problema en virtud y busca al igual que Viollet le Duc una erosión controlada (Frey, 2013).



Fig 74 Casa Rauch textura. Fuente: Beat Bühler

Para controlar la erosión en la vivienda hay que protegerla del agua reduciendo su velocidad [Fig 76] y con ello su acción abrasiva. Rauch experimenta en su casa e idea un sistema de fachada en el que cada tres tongadas de tierra pisada incorpora piezas cerámicas que actúan de salientes y frenan el impacto de la lluvia [Fig 77]. Al contrario que en las viviendas tradicionales no es el tejado el que protege el muro sino las bandas de tierra cocida del propio muro. Con este método Rauch combina lo técnico y lo artístico ya que la horizontalidad de las bandas facilita la lectura de la fachada y manipula la percepción visual al generar juegos de luces y sombras en una misma superficie. (Rauch & Bolthauser, Haus Rauch, 2010). La textura en fachada se enriquece al combinar la tierra cruda y la cocida. Los tonos terrosos destacan entre el verde de la ladera y la granulometría del material crudo genera una textura rugosa. La arquitectura invita a ser tocada, está realizada para ser apprehendida con todos los sentidos.

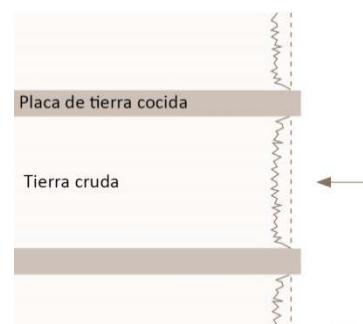


Fig 75 Proceso de erosión controlada  
Fuente: Frey 2013

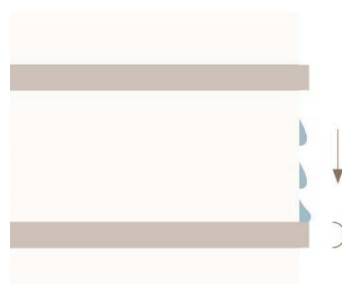


Fig 76 Ralentización de agua de lluvia  
Fuente: Frey 2013

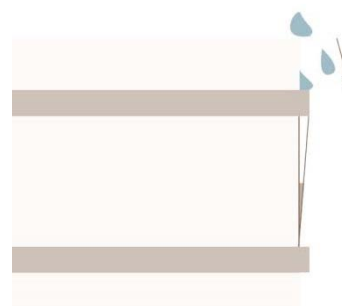


Fig 77 Protección de las piezas  
cerámicas  
Fuente: Frey 2013

Los materiales naturales en arquitectura expresan su edad y su historia. Rauch explota este hecho en su casa donde estudia su envejecimiento y el paso del tiempo en la arquitectura es palpable. En palabras de Pallasmaa “*Toda materia existe en el continuum del tiempo; la pátina del desgaste añade la enriquecedora experiencia del tiempo a los materiales de construcción*” Los materiales actuales ofrecen acabados atemporales que no expresan su edad y que buscan ofrecer siempre la misma cara. La arquitectura y la sociedad contemporánea van en busca de una juventud eterna, negando el envejecimiento y el paso de los días (Pallasmaa, 2014).

Martin Rauch es consciente del devenir del tiempo y emplea el carácter efímero de la tierra con el fin de representar la desaparición de lo corpóreo. El muro se degrada poco a poco en polvo supeditado a las leyes físicas, algo consustancial a la vida en la tierra. La locución latina *Sic transit gloria mundi* es aplicable en esta obra que subraya la belleza de lo efímero. En la piel del edificio leemos el paso del tiempo en la arquitectura como arrugas talladas en el rostro de una persona anciana, en las que cada una de ellas es una huella de las experiencias e historias que ha vivido (Frey, 2013).

#### 4.3.3. Secuencia espacial

A la hora de disponer el programa residencial Bolthauser (colaborando con Rauch) concibe la vivienda como una sucesión de espacios. La arquitectura no se limita a un volumen atractivo sino también a un espacio que cause sensaciones. Las maquetas iniciales del proyecto representan el vacío, el espacio de las diversas salas en lugar del lleno como se realiza tradicionalmente. Estos espacios se apilan los unos sobre los otros aumentando su nivel de privacidad en altura. A cota cero se disponen la entrada, la habitación de invitados y la zona de almacenaje semienterrada en la pendiente. En el piano nobile (primer piso) están la cocina, el salón y el estudio. Finalmente en el segundo piso se sitúan las habitaciones (Ver plano) Los espacios se disponen siguiendo el programa. El nivel inferior invita a acceder a la vivienda y ascender al piso superior donde un espacio fluido permite relacionar diagonalmente la cocina con el estar. En este piso se producen dos descompresiones del espacio. Una el salón donde se baja el suelo para aumentar la altura. Y otra el estudio donde el techo se eleva en doble altura para captar la tenue luz del norte. El piso superior aparece compartimentado para garantizar la privacidad de cada dormitorio (Simon, 2010).

La estratificación de salas no solo tiene en cuenta el programa sino también el carácter de cada espacio. Los acabados se van refinando conforme se asciende en la vivienda y las sensaciones cambian. El inquilino en su ascenso se va despojando de su ropa y adquiere poco a poco una relación más íntima con la materia que conforma la casa. De este modo nos encontramos con un primer piso más rugoso con paredes sin enlucir, suelos de toba sin tratar y techos de ladrillo. En él nos descalzamos para acceder al piso principal donde el contacto con las superficies terrosas aumenta. Las paredes se estucan con arcilla blanca y el suelo de tierra aparece encerado. El



Fig 78 Maquetas espaciales  
Fuente: Rauch & Blothauser 2010

culmen llega en los baños del último piso donde el inquilino completamente despojado de su ropa tiene el contacto más intenso con un fino enlucido de arcilla y delicadas baldosas de tierra cocida con la técnica Raku<sup>17</sup>. La tierra se siente en sus más diferentes formas de expresión (Kapfinger, *Terrestrial Building*, 2010).



Fig 78 Escalera. Fuente: Beat Bühler

Mención aparte merece la escalera. En este espacio autónomo que articula el edificio la tierra pisada del muro exterior se revela en el interior sin enlucirse. Para iluminar este espacio una cúpula perforada con cilindros de pavés baña con luz natural cenitalmente el espacio. Los peldaños de 9 cm son piezas de tierra pisada prefabricada reforzadas con acero que se encajan en el muro perimetral y vuelan hacia el interior del espacio en una aparente situación de ingravidez. Una delicada balaustrada en acero negro acompaña el ascenso de la escalera haciendo que el usuario se emocione en un espacio donde se trabaja la luz y la textura evocando a la arquitectura sacra (Rauch & Bolthauser, *Haus Rauch*, 2010).

La fachada es la reacción al contexto exterior de lo que sucede en el espacio interior de la vivienda. En la potente masa de tierra pisada emergen diversos huecos. El trabajo del hueco aparece muy detallado en la casa. Según su situación los vidrios son una prolongación de la superficie del muro o bien una oquedad que realza la composición. La ventana principal actúa de ojo que observa el valle y ayuda a componer la fachada principal. El paño de vidrio se dispone en primer plano junto con el marco de la ventana. De este modo se logra habitar el hueco pudiendo sentarse a contemplar el paisaje en el espesor del hueco. Se logra habitar el muro. Los laterales se retranquean quedando en sombra y haciendo tangible el grosor y la masividad de los muros de tierra pisada (Simon, 2010).

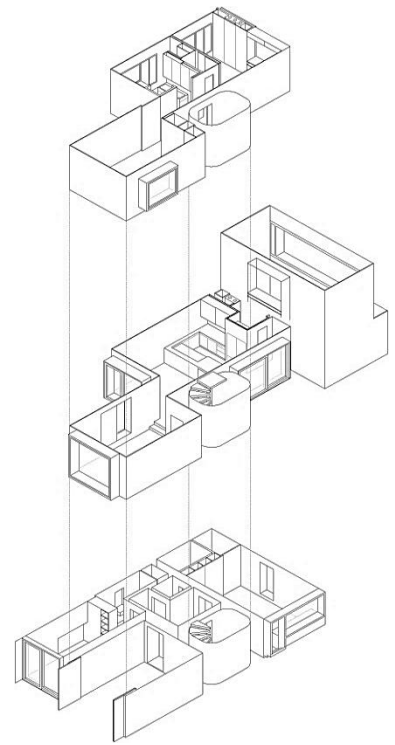


Fig 79 Axonometría  
Fuente: Rauch & Blothauser 2010

<sup>17</sup> Técnica tradicional Japonesa que implica calentar las piezas cerámicas en un horno por debajo de 1000°C y retirarlas al rojo vivo para cubrir las de serrín. La combustión del serrín en la superficie genera un acabado negro y craquelado. En este método se combinan los cuatro elementos: Tierra, aire agua y fuego, para generar un bello material la pieza cerámica.



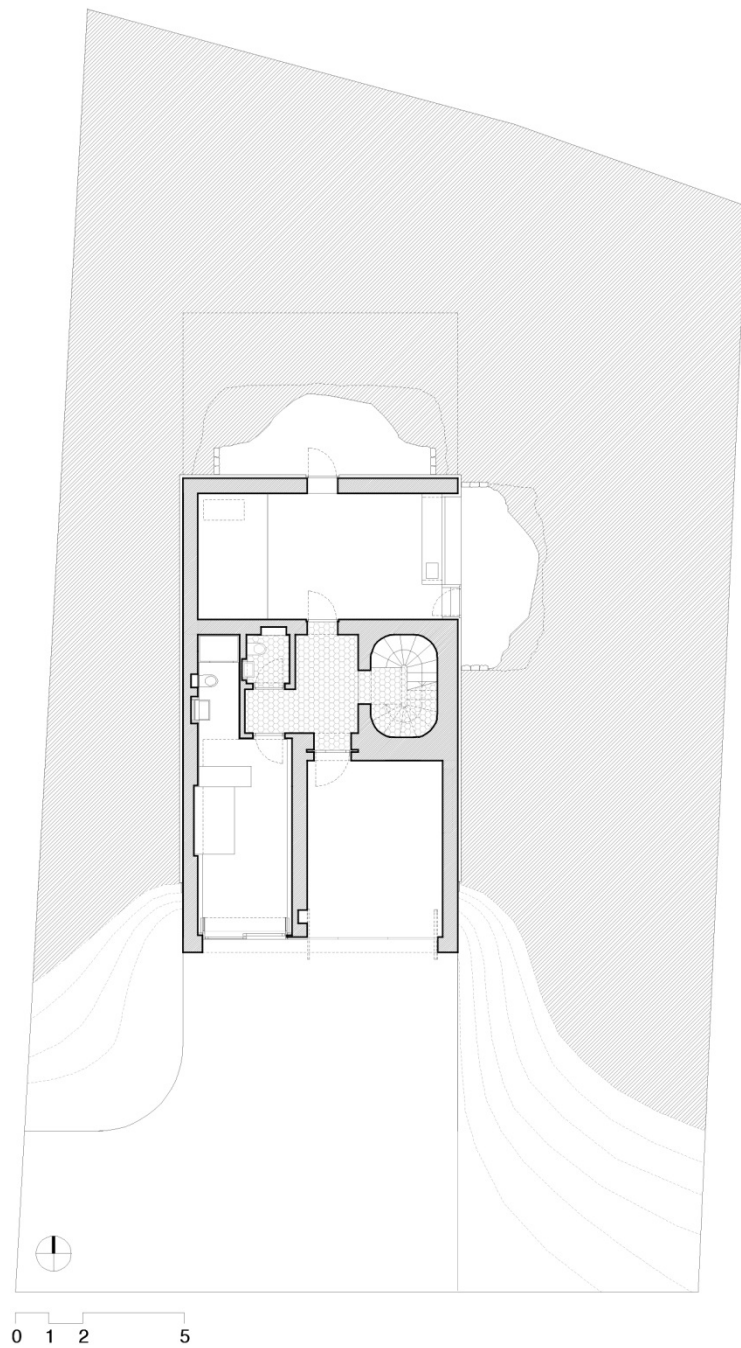


Fig 80 Planta baja. Fuente: Martin Rauch

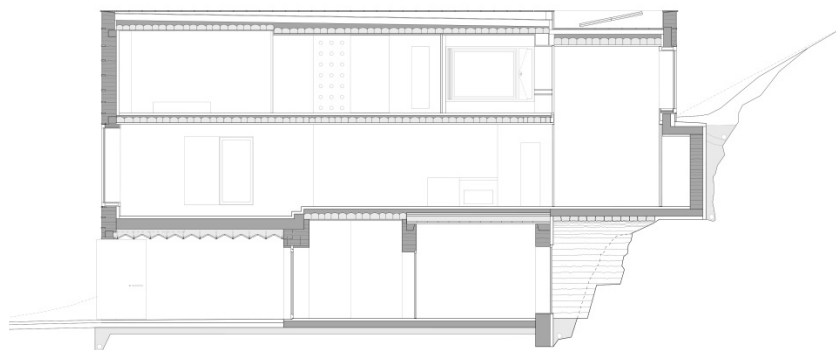


Fig 81 Sección longitudinal. Fuente: Martin Rauch

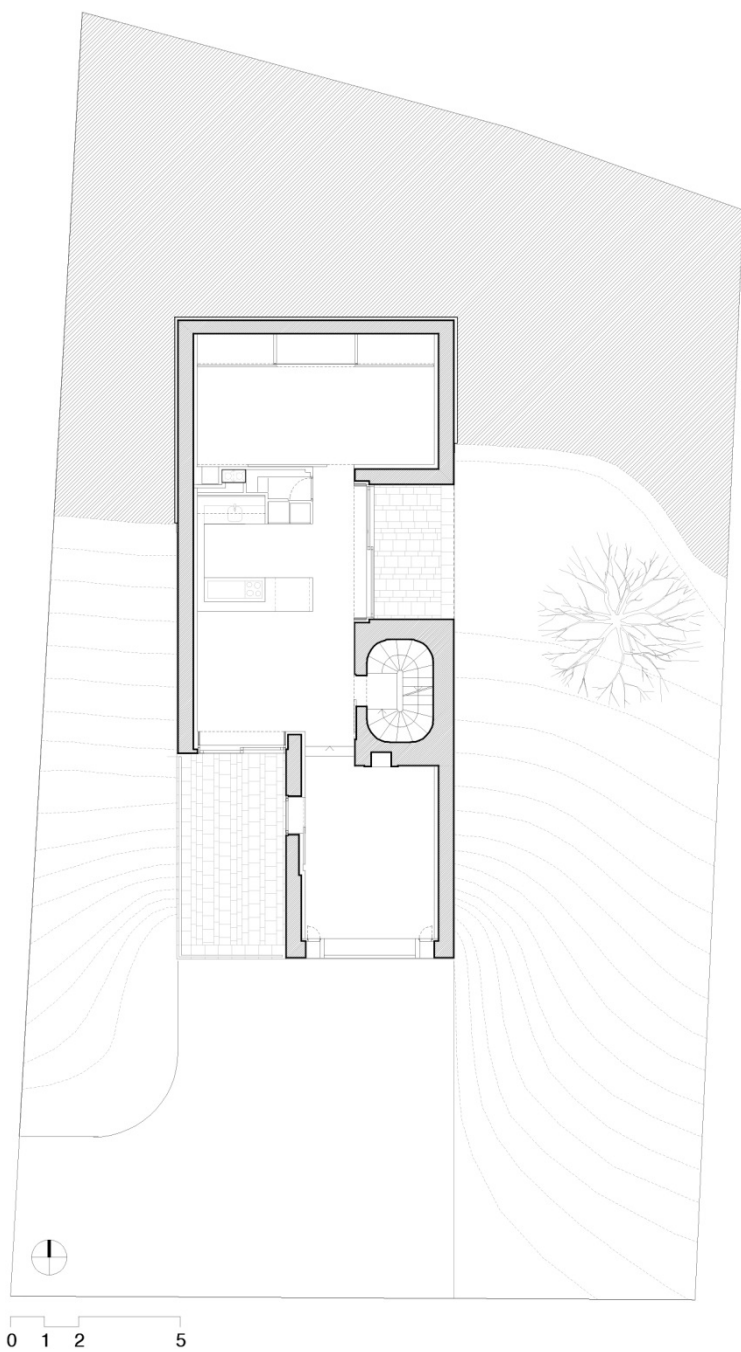


Fig 82 Planta primera. Fuente: Martin Rauch

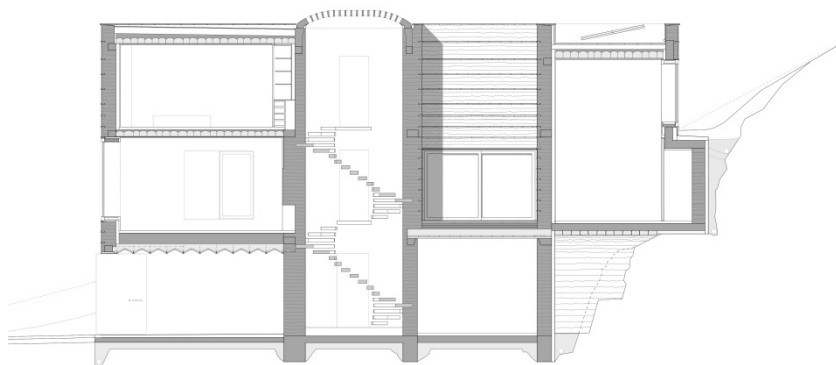


Fig 83 Sección longitudinal. Fuente: Martin Rauch

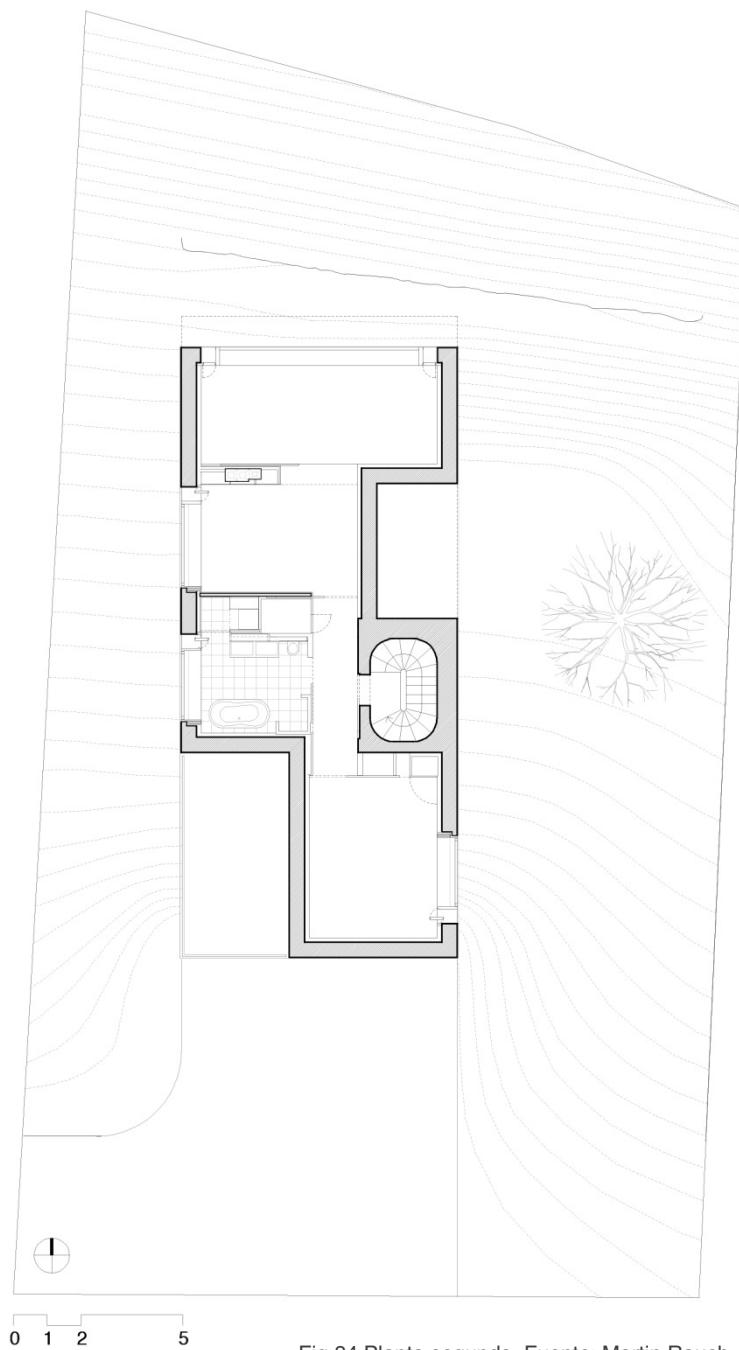


Fig 84 Planta segunda. Fuente: Martin Rauch

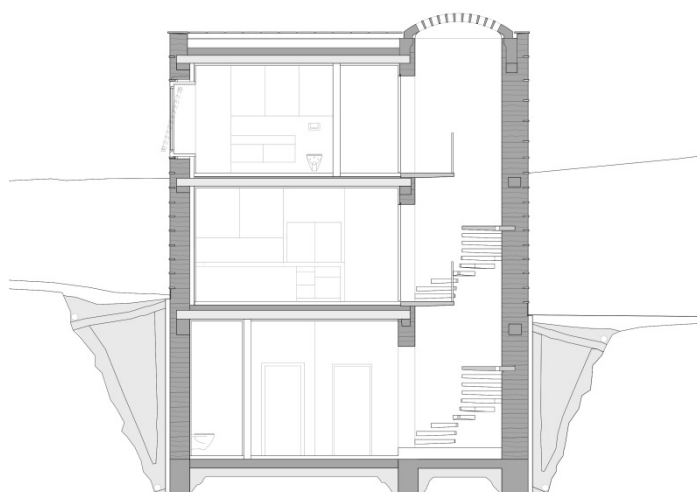


Fig 85 Planta segunda. Fuente: Martin Rauch

### 4.3.3. Proceso constructivo



Fig 86 La cimentación se cubre con láminas bituminosas para impermeabilizar los muros de tierra pesada que se dispondrán directamente sobre la zapata. Para el drenaje se reutiliza una tubería de arcilla vitrificada encontrada durante la propia excavación. Rauch incorpora de este modo el reciclaje en la construcción.

Fuente: Martin Rauch



Fig 87 La tierra generada tras la excavación es tamizada y molida hasta alcanzar diámetros de 30mm y se le añade una pequeña cantidad de arcilla para lograr un adecuado comportamiento estructural. Tras ello se vierte en el encofrado y se compacta con la ayuda de martillos neumáticos. Cada tres tongadas se disponen las placas cerámicas que ayudarán a controlar la erosión del muro.

Fuente: Martin Rauch

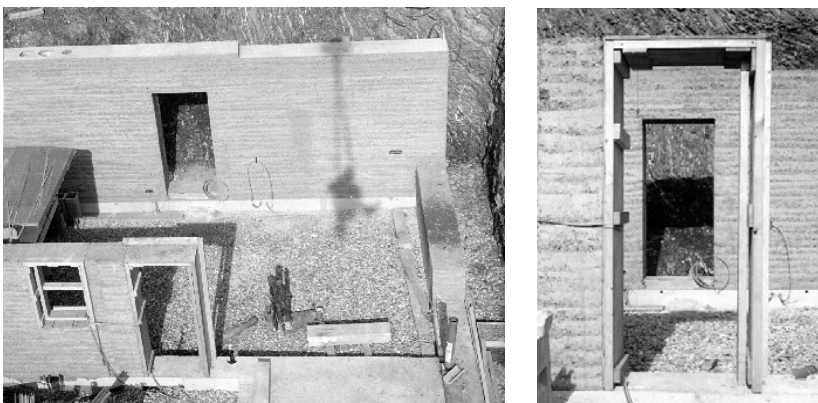
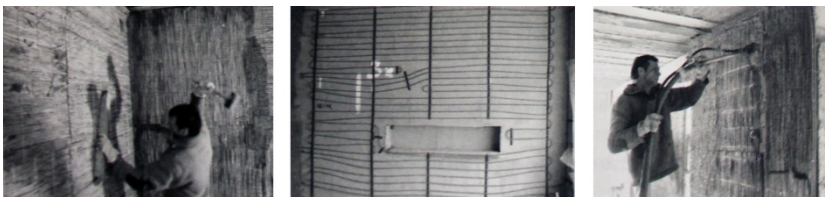


Fig 88 En la cara interior del muro el panel de cañizo se adhiere con un revoco de arcilla y se fija con tornillos. Tras este una fina capa de mortero de tierra permite adherir una segunda capa de aislante de 6cm de espesor. El aislante se cubre con un revoco sobre el que se disponen los tubos flexibles de la pared radiante y se tapa con un enlucido de tierra aplicado en finas capas con la ayuda de una esponja para dar un acabado aterciopelado a la superficie.

Fuente: Martin Rauch



Fig 89 Para realizar los forjados de madera se disponen las vigas previamente secadas y aserradas sobre las vigas de atado. En el caso del forjado del garaje se disponen perfiles en T entre los que se colocan placas de barro cocido a baja temperatura que dan un aspecto rugoso al nivel inferior de la vivienda. Para ello los ladrillos se apoyan temporalmente sobre un encofrado de madera y se vierte el mortero de toba y cal que una vez fraguado asegura la consistencia del forjado.

Fuente: Martin Rauch

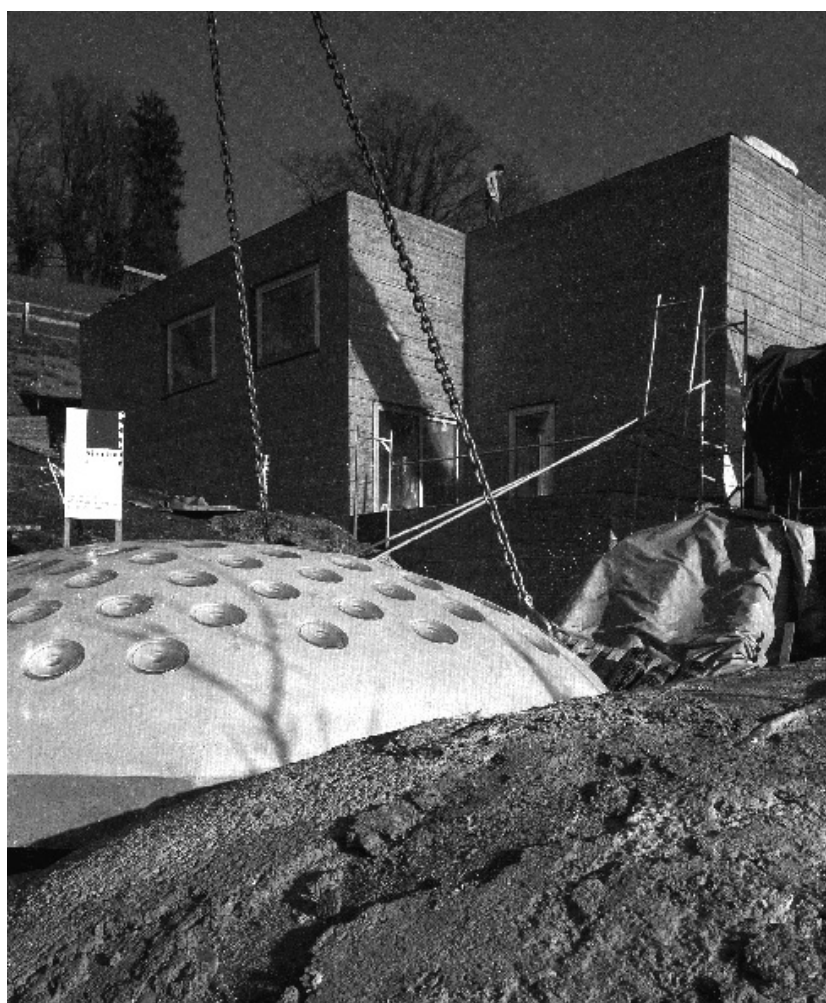


Fig 90 Para realizar la cúpula prefabricada se realiza un molde negativo de la cúpula sobre el que se disponen los bloques de vidrio de 20cm. Sobre él se vierte el hormigón ligero para garantizar un buen aislamiento. La cúpula posee una resistencia térmica de  $0.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Una vez colocada sobre el volumen de la escalera se reviste con un enlucido de tierra para garantizar la homogeneidad cromática del conjunto.

Fuente: Martin Rauch

#### 4.3.4. Materia y detalle

Pese a la falta de confianza por la sociedad actual en la construcción en tierra. Martin Rauch busca romper esos límites y tomar ciertos riesgos para elaborar una arquitectura segura y de calidad. A su modo de ver “Uno no gana confianza a través de la teoría sino mediante la experiencia y la aplicación práctica”. En su casa aplica esta premisa explotando la tierra como material principal desde la estructura hasta los más finos acabados. Pone en práctica un amplio abanico de técnicas con las que experimentar las múltiples posibilidades de esta materia (Rauch, Construction, 2010).



Fig 91 Detalles muro forjado y muro tipo. Fuente: Martin Rauch

Los muros de tierra pisada de 45 cm reciben la carga estructural de los forjados a partir de vigas de atado. Pese a tener cierto espesor y una buena inercia térmica la resistencia térmica ( $U_{\text{tierra}} = 2 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) no es suficiente para alcanzar los estándares de la normativa. Para lograr una  $U_{\text{global}}$  de  $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  es necesario disponer un aislante que no desvirtúe el concepto del edificio. Para garantizar la transpiración del muro se emplea un material natural, las esteras de caña. Su alto contenido en silicio hace que sea resistente a la humedad y no requiera de barrera de vapor. Lamentablemente, Martin Rauch no puede utilizar este sistema en todo el edificio y se ve obligado a aislar con espuma de vidrio la zona enterrada por cuestiones técnicas.



Fig 92 Alzado textura. Fuente: Beat Bühler

Para mejorar la eficiencia térmica de la vivienda, en las paredes exteriores se dispone una serie de tubos plásticos de 8mm como sistema de calefacción radiante. Una temperatura máxima de 28°C permite una potencia de 120 W/m². Sobre este sistema se realizan los enlucidos interiores con arcilla blanca para dar un acabado en tono marfil aterciopelado a la pared. El material se dispone en crudo y sin tratar para garantizar las propiedades reguladoras higrotérmicas de la tierra y ser suave al tacto y a la vista.



Fig 93 Interior Planta Baja. Fuente: Beat Bühler

La cimentación se realiza mediante zapatas corridas en hormigón C15 mezclando cemento y toba. Es el único lugar del edificio donde se usa el cemento por exigencias técnicas. Sin embargo a diferencia de la construcción tradicional se evita armar las zapatas, no se usan refuerzos de acero en la cimentación. Las zapatas tienen un espesor de 45 cm y una altura de 60cm hasta alcanzar el estrato rocoso y sobre ellas reposan los muros de carga perimetrales en tierra pisada del mismo espesor (Kapfinger, Terrestrial Building, 2010).

El drenaje perimetral del edificio permite crear una zona seca bajo la vivienda por lo que el forjado en contacto con el terreno no necesita impermeabilización, tan solo una capa de grava que frena el ascenso capilaridad. Esto permite actuar al suelo de colchón térmico y permitir la transpiración del sótano por el suelo. Para Martin Rauch este hecho es fundamental. “La cáscara que encapsula el edificio debe ser capaz de transpirar como la piel que recubre nuestro cuerpo, por eso mis evito envolver y sellar mis edificios con plásticos.”

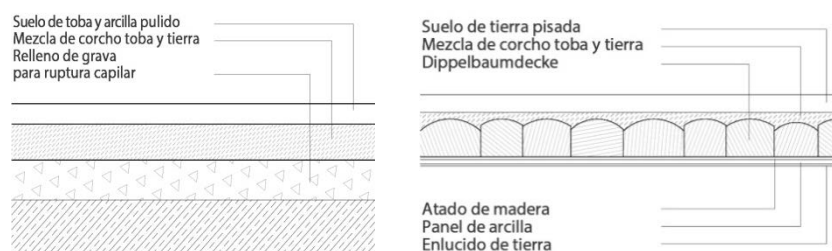


Fig 94 Detalles forjado sótano y dippelbaumdecke. Fuente: Martin Rauch



Para la realización de los forjados de la vivienda Rauch se inspira en la tradición del lugar y opta por el *doppelbaumdecke*<sup>18</sup>. Este forjado de madera combina a la perfección con la tierra ya que esta permite absorber el exceso de humedad que contiene la madera y mejora su conservación. Los forjados que varían entre los 18 y 24cm de espesor se recubren con una capa de tierra pisada sobre la que se aplica caseína<sup>19</sup> y cera para facilitar su limpiado y aumentar su resistencia a la abrasión. En las zonas húmedas se opta por una solución de tierra cocida manualmente mediante la técnica Raku sobre mortero de tierra, de este modo el suelo es resistente al agua. En el caso de la cubierta se emplean tejas cerámicas capaces de soportar las intensas lluvias alpinas (Rauch & Bolthausen, Haus Rauch, 2010).

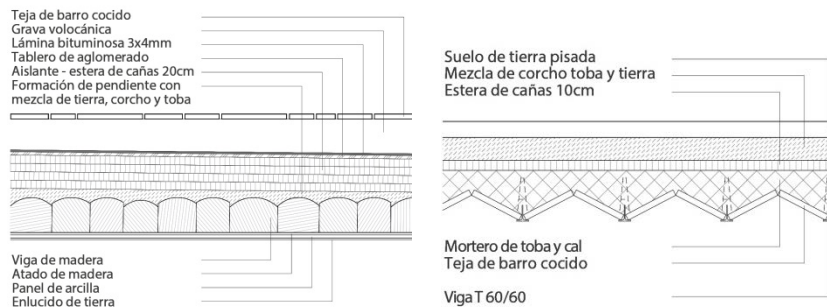


Fig 95 Detalles cubierta y forjado de la cocina. Fuente: Martin Rauch

Como se puede ver en esta vivienda la poesía y sensorialidad de la tierra en la arquitectura viene acompañada de una técnica cuidada, fruto de la tradición local y la experimentación en el taller de Martin Rauch. El uso de la tierra pisada se recupera en la construcción contemporánea para lograr una obra capaz de transmitir emociones y sensaciones en los que la materia es el cuerpo y el alma de su arquitectura.



Fig 96 Cubierta. Fuente: Beat Bühler

<sup>18</sup> En alemán: Cubierta de tacos de madera.

<sup>19</sup> Proteína natural de origen lácteo

#### 4.3.4. Análisis higrotérmico de la vivienda

Tal y como se ha visto en el apartado 3.3.2 la tierra pisada posee una buena capacidad higrotérmica lo que le permite regular adecuadamente la temperatura y la humedad en el interior de la vivienda. De este modo es capaz de crear un ambiente interior confortable para el inquilino.

La temperatura interior se mantiene entre 18°C y 26°C durante todo el año. A pesar de su buen funcionamiento, la vivienda podría ver reducida su temperatura estival disponiendo protectores solares como voladizos que eviten la entrada directa de sol. En invierno todas las habitaciones son calefactadas a 18°C mediante la pared radiante. Además, gracias a los aportes solares, el aire interior suele permanecer en unos confortables 21°C. La escalera al no estar aislada térmicamente y estar cubierta por una cúpula tiene unos picos de temperatura más pronunciados. En el siguiente gráfico se puede observar la temperatura de los espacios a lo largo de un año.

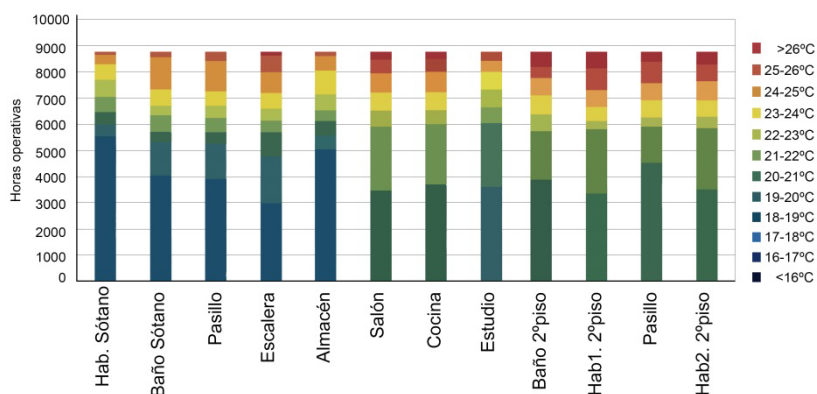


Fig 97: Frecuencia de la temperatura interior del aire. Fuente: Martin Rauch,

Una pared de tierra es capaz de absorber hasta tres veces más humedad que otra convencional como se puede ver en el gráfico a continuación. En invierno la humedad se libera garantizando el confort higrotérmico mientras que en verano cuando la humedad puede alcanzar hasta el 70%, el vapor de agua se absorbe. Los gruesos muros de tierra son capaces de reducir los picos de humedad creando así un ambiente más agradable.

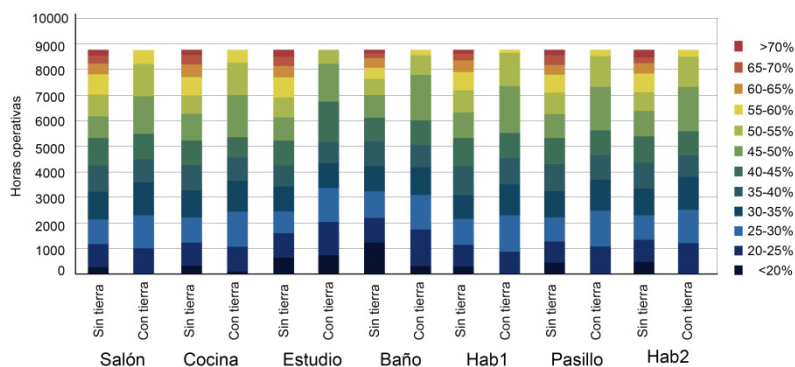


Fig 98: Frecuencia de humedad del aire interior. Fuente: Martin Rauch,

Estos buenos datos de temperatura y humedad se consiguen gracias a la correcta ejecución de la envolvente del edificio. La normativa austriaca exige el cumplimiento de unos valores mínimos

de consumo que satisfagan las necesidades del usuario y garanticen la eficiencia energética. La Casa Rauch pese a su singularidad debe cumplir estos parámetros y poseer una envolvente con una transmitancia térmica reducida por debajo de los 0.3 W/m<sup>2</sup>K.

1.- Muro exterior	Espesor	$\lambda_{\text{térmica}}$	$R_{\text{térmica}}$
	cm	W/m K	m <sup>2</sup> K/W
Resistencia superficial exterior			0,04
Muro de tierra pisada	45	0,81	0,56
Aislante de estera de caña	12	0,04	3,00
Enlucido con pared radiante	3	0,87	0,03
Resistencia superficial interior			0,13
<b>Transmitancia térmica <math>U_{\text{muro}}</math></b>	<b>0,27</b>	<b>W/m<sup>2</sup> K</b>	

2.- Cubierta	Espesor	$\lambda_{\text{térmica}}$	$R_{\text{térmica}}$
	cm	W/m K	m <sup>2</sup> K/W
Resistencia superficial exterior			0,04
Teja de barro cocido		-	
Grava volcánica		-	
Lamina bituminosa x3	1,2	0,23	0,05
Tablero de aglomerado	2,7	0,14	0,19
Aislante de estera de caña	20	0,04	5,00
Mezcla de corcho, tierra y toba	10	1,15	0,09
Viga de madera	15	0,16	0,94
Atado de madera		-	
Panel de arcilla	4	0,21	0,19
Enlucido de tierra	3	0,87	0,03
Resistencia superficial interior			0,13
<b>Transmitancia térmica <math>U_{\text{muro}}</math></b>	<b>0,15</b>	<b>W/m<sup>2</sup> K</b>	

3.- Forjado tipo	Espesor	$\lambda_{\text{térmica}}$	$R_{\text{térmica}}$
	cm	W/m K	m <sup>2</sup> K/W
Resistencia superficial exterior			0,04
Suelo de tierra pisada	12	0,81	0,15
Mezcla de corcho, tierra y toba	4	1,15	0,03
Viga de madera	15	0,16	0,94
Atado de madera		-	
Aislante de estera de caña	12	0,04	3,00
Panel de arcilla	4	0,21	0,19
Enlucido de tierra	3	0,87	0,03
Resistencia superficial interior			0,13
<b>Transmitancia térmica <math>U_{\text{muro}}</math></b>	<b>0,22</b>	<b>W/m<sup>2</sup> K</b>	

El análisis de los puentes térmicos de los forjados en la vivienda permite comprobar que los valores obtenidos son entre ocho y diez veces inferiores a los puentes térmicos convencionales que suelen oscilar alrededor de 0.8 W/mK. Esto se debe a la escasa conductividad térmica de la madera. En el caso de las carpinterías el valor obtenido de 0.09 W/mK está también por debajo de los 0.4 W/mK convencionales (Ver anexo y CTE DB HE-3).

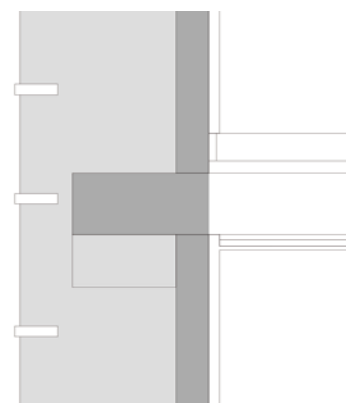


Fig 99 Puente térmico forjado  
Valor: 0.086 W/mK  
Fuente: Kung, Fuhrer, Tscheulin 2009

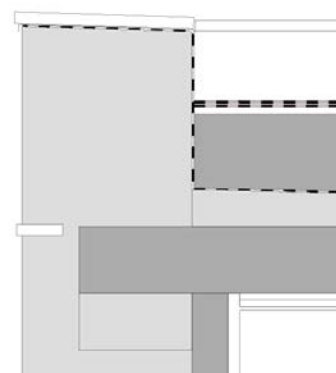


Fig 100 Puente térmico cubierta  
Valor: 0.08 W/mK  
Fuente: Kung, Fuhrer, Tscheulin 2009

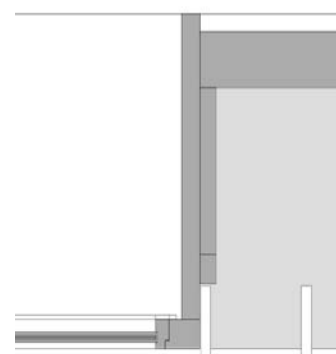


Fig 101 Puente térmico carpinterías  
Valor: 0.09 W/mK  
Fuente: Kung, Fuhrer, Tscheulin 2009

#### 4.3.5. La vivienda sostenible

La limitación energética de la normativa actual obliga a los arquitectos a diseñar edificios envueltos en capas plásticas que impiden la transmisión de calor entre el interior y el exterior del edificio pero también la transpiración del edificio dificultando la correcta ventilación de las estancias interiores. Estos plásticos suelen contener sustancias químicas perjudiciales para el organismo y una alta energía gris. Martin Rauch busca distanciarse de esta corriente pero cumpliendo en todo momento los estándares técnicos y de calidad exigidos por la legislación.

Para ello emplea materiales naturales locales como es el caso de la tierra o madera de los bosques cercanos. De este modo reduce distancias, costes y energía de producción. Para la construcción de la vivienda se han calculado unos 2.300 MJ/m<sup>2</sup> de energía gris consumida, aproximadamente un 40% menos que en una obra habitual (4.400 MJ/m<sup>2</sup>). Además se evita el uso de componentes químicos nocivos. Como se ha visto en apartados anteriores la capacidad higroscópica de la tierra pisada es capaz de absorber productos químicos y radiación electromagnética. La prueba es que en el volumen de la escalera no hay cobertura móvil y en el resto de la vivienda es escasa (Kann, 2010).

La energía para calefacción y agua caliente sanitaria procede de fuentes renovables. En la cubierta se disponen 14m<sup>2</sup> de colectores solares térmicos que se apoyan con una estufa de madera tradicional situada en la cocina. Una fuente auxiliar de pellets<sup>20</sup> se coloca en el sótano como refuerzo en caso de ausencia de sol o madera. La vivienda carece de sistema de ventilación y refrigeración. La ventilación cruzada entre la fachada sur y la fachada norte permite refrescar el ambiente sin necesidad de un sistema mecánico. La vivienda aprovecha los flujos de convección del aire dentro de la vivienda para disipar el calor por la chimenea.

Rauch también tiene en cuenta el fin de vida de su vivienda. Al ser el 85% del material tierra sin tratar esta puede reciclarse o devolverse al medio sin contaminar, la madera al estar tratada únicamente con caseína y ceras también puede aprovecharse para construcción o para generar energía. Este fin de vida no hace sino evocar la preocupación por la temporalidad en la arquitectura. Rauch consigue dar respuesta a esta inquietud mediante la recuperación de la tierra pisada, un material tradicional, poético y sustentable capaz de transmitir múltiples sensaciones.

---

<sup>20</sup> Combustible granulado a base de madera.



## 5. Conclusión

Este trabajo ha permitido constatar que la tierra no es un simple material sino que detrás de ella existe un bagaje antropológico que la posiciona como un elemento primigenio vinculado a la religión, la filosofía y el devenir humano. La tierra es desde el origen de los tiempos una materia espiritual inherente a la esencia del hombre.

Desde un punto de vista estereotómico ofrece múltiples facetas, colores y texturas que vienen condicionados por su composición y minerales, siendo la arcilla el elemento esencial que permite aglutinar la mezcla y hacerla apta para la arquitectura. Gracias a esta composición y su amplia disponibilidad en la corteza terrestre, hacen de la tierra un material sostenible de escasa energía gris, que no genera contaminación y cuyos residuos pueden reutilizarse indefinidamente al seguir un ciclo de vida circular donde el inicio y el final coinciden, al igual que sucede en la perspectiva cristiana, se parte de la tierra para regresar a la tierra.

Por otro lado los prejuicios sociales que consideran el tapial como un sistema constructivo de baja calidad, anclado al pasado y típico de países subdesarrollados va poco a poco desapareciendo en nuestra sociedad gracias a los buenos resultados obtenidos en laboratorio que certifican que la tierra es un material seguro y de calidad.

Durante la investigación se ha constatado que gracias al buen comportamiento estructural, higrotérmico y técnico de la tierra pisada, este material puede competir al mismo nivel que el hormigón o el acero, pese a sus limitaciones a nivel proyectual. Además ofrece aspectos sensoriales como el color y la textura natural en tongadas, reveladora de su proceso constructivo, que animan al usuario a interactuar con el edificio más allá de la vista, la arquitectura se siente, se palpa y se acaricia lo que hace de esta arquitectura en tierra una arquitectura de sentidos.

A pesar de estas virtudes que ofrece la tierra pisada todavía quedan aspectos a resolver como la falta de normativa nacional al respecto. Otros países como Alemania o Nueva Zelanda poseen detalladas normas que sirven de apoyo y al mismo tiempo favorecen la construcción con esta sistema. Esta constatación permite abrir una vía de investigación profundizando más en aspectos normativos y analizando en detalle la legislación extranjera vigente y su posible adaptación a la norma española para sentar unas bases legales para la construcción en tierra en nuestro país.

Otra línea de investigación posible contemplaría el uso en la prefabricación del tapial cuyo desarrollo en la construcción en tierra contemporánea se planea fructífero. Este sistema aúna tradición y modernidad, sin embargo todavía cuenta con aspectos a resolver como la falta de capacidad estructural de estos paneles que se usan como simple revestimiento. Los nuevos avances deben lograr la integración de la capacidad estructural, técnica y plástica del material en un único prefabricado de tierra pisada.

Finalmente, con la puesta en escena de la arquitectura de Martin Rauch, se pone de manifiesto una unión entre artesanía y arquitectura en la que se trabajan aspectos como lo estereotómico y la importancia del hueco en la densidad del muro. Esta arquitectura explota al máximo las cualidades de la tierra pisada y ofrece resultados notables no sólo desde un punto de vista técnico y sostenible sino también proyectual y plástico. Los volúmenes juegan con la luz dando lugar a formas puras y sencillas pero a la vez de gran riqueza sensorial evocando una arquitectura de los sentidos donde la textura de la tierra invita no solo a ser vista sino también acariciada logrando una interacción entre la persona y la arquitectura. De este modo la tierra espiritual y el hombre, así como la tierra tangible y la construcción recuperan el vínculo perdido de sus orígenes.

En conclusión, este material, con sus virtudes y defectos permite moldear una arquitectura que responde a las inquietudes económicas y medioambientales de la sociedad actual. Con este trabajo no se pretende descubrir un material novedoso sino realizar una lectura del pasado y recuperar la tradición constructiva local en tierra pisada que es capaz de aunar técnica, sostenibilidad y calidad formal. Con el uso de la tierra pisada, el material deviene materia, realizando un camino de introspección hacia nuestros orígenes y nuestro entorno para recuperar la más profunda esencia del hombre y, por ende, de la materia con la que construir la contemporaneidad.

## Bibliografía

- Dachverband Lehm e.V. (1998). *Lehmbau Regeln*.
- Abad Alegría, F. (1997). *Construcciones de barro en Aragón*. Zaragoza: La Val d'Onsera.
- AENOR. (2008). Norma UNE 41410-2008.
- Algorri, E. (2009). "La construcción con tierra en el Código Técnico de la Edificación".
- Allanegui Burriel, G. (1979). *Arquitectura popular de Aragón*. Zaragoza: Librería General.
- Aristóteles. (s IV a.C.). *Acerca de la generación y la corrupción*.
- Aristóteles. (s IV a.C.). *Metafísica*.
- Arquitectura sostenible en tierra. Solución de futuro con un gran pasado. (2006). *BIA n°244*.
- Asamblea General ONU. (2005). Documento Final de la Cumbre Mundial 2005.
- Bárcena Barrios, P., & Bauluz del Río, G. (2004). *Uso actual de antiguas tecnologías castellanas de edificación con tierra en los procesos de autoconstrucción de viviendas en America Central y Andina*. Toledo: COACM.
- Bestraten, S. (2011). Construcción con tierra en el siglo XXI. *Informe de la construcción*.
- Build it international. (2012). *Review of Sustainable Building Materials & Design*.
- Burk, M. (2014). Baumeister - Martin Rauch. *Baumeister*.
- Campelo, J., Méndez, L., & Miñana, J. (1979). *Adobe y energía Solar*. Barcelona: Síntesis.
- Cid, J. (2011). Las normativas de construcción con tierra en el mundo. *Informes de la construcción*.
- Construire en terre. (2006). *À vivre n°28*.
- Correia, M. (2014). *lessons from vernacular heritage to sustainable architecture*. CRAterre.
- CRAterre. (2014). *Les enduits en terre*.
- Dachverband Lehm. (s.f.). *Kapelle der Versöhnung*.
- Desconocido. (s.f.). *Génesis*.
- di Paoli, R. (2014). Apuntes de la asignatura Construire en Terre Crue. École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes.

- DiCom Medios . (2000). Gran Enciclopedia Aragonesa.
- Diels, H. A. (1903). *Fragmentos de los presocráticos*.
- Earth Building Association of New Zealand. (2008). *Earth Building*.
- Font, F. (2011). *La tapia en España: Técnicas actuales y ejemplos*.
- Fontaine, L. (2013). La terre crue rentre dans le moule. *Le moniteur*.
- Frampton, K. (1981). *Historia crítica de la arquitectura moderna*.
- Frey, P. (2013). Terre à Terre. *Technique*.
- Guigou Fernández, C. (2003). *La tierra como material de construcción*. Tenerife: COAC.
- Gujan, M., & Pally, C. (2010). *Umbau Stall "Plazza Pintgia"*.
- Heathcote, K. (2011). *The thermal performance of earth buildings*.
- Heringer, D. A. (2014). *AV Proyectos n°61*.  
<http://www.lehmtonerde.at/de/>. (s.f.).  
[kapelle-versoehnung.de](http://www.kapelle-versoehnung.de). (s.f.).
- Kapfinger, O. (2002). *Rammed Earth*. Basel: Birkhauser.
- Kapfinger, O. (2010). Terrestrial Building. En M. Rauch, & R. Bolthauser, *Haus Rauch*. Basel: Birkhauser.
- La tierra material de construcción. (2011). *Informes de la construcción*.
- Le Tiec, J.-M., & Paccoud, G. (2006). *Pisé H2O*.
- Maldonado Ramos, L., Rivera Gámez, D., & Vela Cossío, F. (2003). *Nuevas aplicaciones de la tierra como material de construcción*. Madrid: Mairia.
- Maldonado Ramos, L., Rivera Gámez, D., & Vela Cossío, F. (2005). *Arquitectura y construcción con tierra: Tradición e Innovación*. Madrid: Mairia.
- Maldonado, L. (2013). Lo crudo y lo cocido. *Arquitectura Viva* 150.
- Maniatidis, V., & Walker, P. (2003). *A Review of Rammed Earth Construction*. Bath: University of Bath.
- McDonough, W. (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*.
- Minke, G. (2006). *Building with Earth*. Basel: Birkhauser.
- Moneo, R. (2007). *Otra modernidad*.
- Rauch, M., & Bolthauser, R. (2010). *Haus Rauch*. Basel: Birkhauser.

- Rauch, M., & Heringer, A. (2012). Conferencia "MudWorks: A Different Shade of Green".
- Regazzoni, Q. (2002). *Umbrales*.
- Ricola. (2014). *Comunicado de prensa*.
- Sáinz Guerra, J. L., & Jové Sandoval, F. (2012). *Construcción con tierra: Tecnología y arquitectura*. Valladolid: Fundación General de la Universidad de Valladolid.
- Sáinz Guerra, J. L., & Jové Sandoval, F. (2013). *Construcción con tierra: Pasado, presente y futuro*. Valladolid: Fundación General de la Universidad de Valladolid.
- Schroeder, H. (2011). *Moisture transfer and change in strength during the construction of earthen buildings*.
- U.S. Dept of Agriculture, N. (2000). *The Color of Soil*.
- van Damme, H. (2013). La terre un béton d'argile. *Pour la Science* n°423.
- Viñuales, G. M. (1981). *Restauración de arquitectura en Tierra*. Universidad Nacional de Tucumán.
- von Mag, A., & Rauch, M. (2011). *Paredes de tapial y su industrialización*.
- Wagner, P. (1974). *El uso humano de la tierra*. Madrid: Instituto de Estudios de Administración Local.
- [www.anna-heringer.com](http://www.anna-heringer.com). (s.f.).
- [www.asterre.org](http://www.asterre.org). (s.f.).
- [www.caseditera.it](http://www.caseditera.it). (s.f.).
- [www.cite-sciences.fr/francais/ala\\_cite/expositions/ma-terre-premiere/](http://www.cite-sciences.fr/francais/ala_cite/expositions/ma-terre-premiere/). (s.f.).
- [www.conteam.ch](http://www.conteam.ch). (s.f.).
- [www.craterre.org](http://www.craterre.org). (s.f.).
- [www.eartharchitecture.org](http://www.eartharchitecture.org). (s.f.).
- [www.earth-auroville.com](http://www.earth-auroville.com). (s.f.).
- [www.herzogdemeuron.com](http://www.herzogdemeuron.com). (s.f.).
- [www.kere-architecture.com](http://www.kere-architecture.com). (s.f.).
- [www.lehmtonerde.at](http://www.lehmtonerde.at). (s.f.).
- [www.marcelocortes.cl](http://www.marcelocortes.cl). (s.f.).
- [www.youtube.com/user/GrainsDeBatisseurs](http://www.youtube.com/user/GrainsDeBatisseurs) (s.f.). [Película].